

Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»



# **ТРУДЫ**

## **КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

№ 5, 2021

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Петрозаводск  
2021

Главный редактор  
А. Ф. ТИТОВ, член-корр. РАН, д. б. н., проф.

Редакционный совет

А. М. АСХАБОВ, академик РАН, д. г.-м. н., проф.; О. Н. БАХМЕТ (зам. главного редактора), член-корр. РАН, д. б. н.; А. В. ВОРОНИН, д. т. н., проф.; И. В. ДРОБЫШЕВ, доктор биологии (Швеция – Канада); Э. В. ИВАНТЕР, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; Х. ЙООСТЕН, доктор биологии, проф. (Германия); А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; Е. В. КУДРЯШОВА, д. флс. н., проф.; О. Л. КУЗНЕЦОВ, д. б. н.; Н. В. ЛУКИНА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; В. В. МАЗАЛОВ, д. ф.-м. н., проф.; Н. Н. НЕМОВА, член-корр. РАН, д. б. н., проф.; О. ОВАСКАЙНЕН, доктор математики, проф. (Финляндия); О. Н. ПУГАЧЕВ, академик РАН, д. б. н.; С. А. СУББОТИН, доктор биологии (США); Д. А. СУБЕТТО, д. г. н.; Н. Н. ФИЛАТОВ, член-корр. РАН, д. г. н., проф.; Т. Э. ХАНГ, доктор географии (Эстония); П. ХЁЛЬТТЯ, доктор геологии, проф. (Финляндия); К. ШАЕВСКИЙ, доктор математики, проф. (Польша); В. В. ЩИПЦОВ, д. г.-м. н., проф.

Редакционная коллегия серии «Экологические исследования»

К. С. БОБКОВА, д. б. н., проф.; В. В. ВАПИРОВ, д. х. н.; А. Е. ВЕСЕЛОВ, д. б. н., проф.; А. Н. ГРОМЦЕВ, д. с.-х. н.; П. И. ДАНИЛОВ, д. б. н., проф.; Н. В. ИЛЬМАСТ (зам. отв. редактора), д. б. н., доцент; Н. М. КАЛИНКИНА, д. б. н.; А. М. КРЫШЕНЬ, д. б. н.; О. Л. КУЗНЕЦОВ (отв. редактор), д. б. н.; В. А. МАСЛОБОЕВ, д. т. н., проф.; Е. Н. РАСПУТИНА (отв. секретарь), к. б. н.; С. А. СВЕТОВ, д. г.-м. н., проф.; К. Ф. ТИРРОНЕН, к. б. н.; В. Т. ЯРМИШКО, д. б. н., проф.

*Издается с января 2009 г.*

Адрес редакции: 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11  
Тел. (8142)762018; факс (8142)769600  
E-mail: trudy@krc.karelia.ru

Электронная полнотекстовая версия: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2021  
© Институт биологии КарНЦ РАН, 2021  
© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2021  
© Институт леса КарНЦ РАН, 2021

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

# **TRANSACTIONS**

**of the KARELIAN RESEARCH CENTRE  
of the RUSSIAN ACADEMY of SCIENCES**

No. 5, 2021

ECOLOGICAL STUDIES

Petrozavodsk  
2021

Editor-in-Chief

A. F. TITOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.

Editorial Council

A. M. ASKHABOV, RAS Academician, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; O. N. BAKHMET (Deputy Editor-in-Chief), RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.); I. V. DROBYSHEV, PhD (Biol.) (Sweden – Canada); N. N. FILATOV, RAS Corr. Fellow, DSc (Geog.), Prof.; T. E. HANG, PhD (Geog.) (Estonia); P. HÖLTTÄ, PhD (Geol.), Prof. (Finland); E. V. IVANTER, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; H. JOOSTEN, Dr. (Biol.), Prof. (Germany); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); E. V. KUDRYASHOVA, DSc (Phil.), Prof.; O. L. KUZNETSOV, DSc (Biol.); N. V. LUKINA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; V. V. MAZALOV, DSc (Phys.-Math.), Prof.; N. N. NEMOVA, RAS Corr. Fellow, DSc (Biol.), Prof.; O. OVASKAINEN, PhD (Math.), Prof. (Finland); O. N. PUGACHYOV, RAS Academician, DSc (Biol.); V. V. SHCHIPTSOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; S. A. SUBBOTIN, PhD (Biol.) (USA); D. A. SUBETTO, DSc (Geog.); K. SZAJEWSKI, PhD (Math.), Prof. (Poland); A. V. VORONIN, DSc (Tech.), Prof.

Editorial Board of the «Ecological Studies» Series

K. S. BOBKOVA, DSc (Biol.), Prof.; P. I. DANILOV, DSc (Biol.), Prof.; A. N. GROMTSEV, DSc (Agr.); N. V. ILMAST (Deputy Editor-in-Charge), DSc (Biol.), Assistant Prof.; N. M. KALINKINA, DSc (Biol.); A. M. KRYSHEN', DSc (Biol.); O. L. KUZNETSOV (Editor-in-Charge), DSc (Biol.); V. A. MASLOBOEV, DSc (Tech.), Prof.; E. N. RASPUTINA (Executive Secretary), PhD (Biol.); S. A. SVETOV, DSc (Geol.-Miner.), Prof.; K. F. TIRRONEN, PhD (Biol.); V. V. VAPIROV, DSc (Chem.); A. E. VESELOV, DSc (Biol.), Prof.; V. T. YARMISHKO, DSc (Biol.), Prof.

*Published since January 2009*

*Monthly*

Editorial Office address: 11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
Tel. (8142)762018; fax (8142)769600  
E-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru)

Full-text electronic version: <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

- © Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2021
- © Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2021
- © Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2021
- © Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2021

УДК 630\*181.34 + 630\*907.32 (1–924.14/.16)

## **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В СРЕДНЕТАЕЖНЫХ УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ**

**Г. В. Ахметова**

*Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Изучены особенности распределения макро- и микроэлементов в системе «почва – растение» в различных ландшафтно-геохимических условиях водно-ледниковой равнины среднетаежной подзоны Восточной Фенноскандии в государственном заповеднике «Кивач». Представлены данные химического состава различных фракций доминирующих видов растений. Мхи и лишайники характеризуются низкой зольностью и невысоким содержанием макро- и микроэлементов, а низкое содержание тяжелых металлов (никеля, меди, хрома, кобальта) говорит об отсутствии аэротехногенного загрязнения на исследуемой территории. Для кустарничков рода *Vaccinium* характерна филогенетическая специализация – черника и брусника являются кальцефагами и аккумуляторами марганца. В хвое сосны отмечается одинаковый уровень содержания калия и кальция, высокое содержание марганца и магния, при этом наблюдается ретранслокация во вновь образующие органы калия, а также меди и кобальта. На основе данных о химическом составе почв рассчитаны коэффициенты биологического поглощения и коэффициенты биохимической активности растений. Выделены группы химических элементов по степени интенсивности вовлечения их в биологический круговорот. Наибольшей биогенностью отличаются марганец, кальций и калий, также активно участвуют в биогенном круговороте цинк и медь. Коэффициент биохимической подвижности показывает, что самая высокая биохимическая активность среди изучаемых видов растений характерна для черники. Полученные результаты показывают слабую тенденцию изменения содержания большинства исследуемых химических элементов и интенсивности биологического поглощения растений в зависимости от ландшафтно-геохимических условий. В целом выявлено, что для макроэлементов главным фактором изменчивости является видовая принадлежность растений и физиологические особенности организмов, в то время как содержание большинства микроэлементов варьирует в зависимости от положения в рельефе и гидрологических условий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** таежная растительность; геохимическая катена; химический состав растений; биогеохимические коэффициенты; элементарные геохимические ландшафты.

### **G. V. Akhmetova. DISTRIBUTION PATTERNS OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN THE “SOIL – PLANT” SYSTEM IN THE MIDDLE TAIGA OF EASTERN FENNOSCANDIA**

The distribution patterns of macro- and microelements in the “soil – plant” system were studied in different aqueo-glacial plain landscapes and geochemical environments in the middle taiga of Eastern Fennoscandia, in the Kivach Strict Nature Reserve. Data

on the chemical composition of different parts of dominant plant species are provided. Mosses and lichens are noted for low ash content and relatively low concentrations of macro- and microelements. The low content of heavy metals (nickel, copper, chromium, cobalt) indicates the absence of air-borne industrial pollution in the study area. Dwarf shrubs of the genus *Vaccinium* are phylogenetically specialized – bilberry and cowberry are calciphagous and accumulate manganese. Pine needles contain equal amounts of potassium and calcium, as well as high concentrations of magnesium and manganese. Potassium, and also copper and cobalt are further translocated to newly formed plant organs. Data on the chemical composition of soils and plants were used to calculate the biological absorption factor and the index of biochemical activity for plants. Chemical elements were grouped by the rate of their involvement in the biological cycle. Manganese, calcium and potassium prove to be the most biogenic. Zinc and copper are also actively involved in the biogenic cycle. Among the studied plant species, the index of biochemical activity was the highest in bilberry. The results reveal a slight variation in the content of a majority of the studied chemical elements and the rate of biological uptake by plants across the range of landscape-geochemical conditions. A general finding is that the principal factors for variation in macroelements are the plant's species identity and physiological characteristics, while the content of microelements varied in relation to the topographic position and hydrological conditions.

**Key words:** boreal vegetation; geochemical catena; elemental composition of plants; biogeochemical coefficients; elementary geochemical landscape.

## Введение

В результате человеческой деятельности происходят серьезные изменения в биогеохимических циклах макро- и микроэлементов, что приводит к нарушению их естественного круговорота [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Никонов, Лукина, 1994; Лукина, Никонов, 1996; Grand et al., 2014]. Как известно, почвы являются одним из основных источников питательных веществ для живых организмов, а растительный покров – это важнейшее промежуточное звено в круговороте химических элементов. Растения являются биогеохимическим барьером, способны накапливать избыточные массы элементов и выводить их из миграционного потока [Стеблевская и др., 2006]. Поэтому выявление уровня содержания химических элементов в растениях – один из параметров оценки состояния природной среды. Также известно, что содержание макро- и микроэлементов в растениях, с одной стороны, во многом зависит от генетических особенностей вида [Ильин, 1985; Баргальи, 2005; Битюцкий, 2005, 2010], с другой стороны, от ландшафтно-геохимических условий произрастания [Власова, 2011; Енчилик и др., 2018].

Содержание и особенности распределения химических элементов в компонентах окружающей среды являются важными параметрами, которые характеризуют эколого-геохимическое состояние территорий. Выявлению трансформации химического состава почв и растений в связи с загрязнением окружающей среды посвящено множество исследований [Лянгу-

зова, 2005; Михайлова и др., 2006; Bjerke et al., 2006; Vasconcelos et al., 2008; Сухарева, 2016, 2018; Кашулина и др., 2018; Kozlowski et al., 2019]. Изучение особенностей химического состава растений важно при исследовании процессов биологического круговорота элементов минерального питания в естественных экосистемах [Глазовская, 1964; Морозова, 1991].

Исследования химического состава почв среднетаежной подзоны Восточной Фенноскандии имеют давнюю историю и достаточно многочисленны [Тойкка и др., 1973; Федорцев и др., 2008, 2015], для растений подобных сведений имеется меньше [Казимиров и др., 1977; Морозова, 1991]. Кроме того, данные о содержании химических элементов в растениях в основном дают оценку изменению их химического состава в условиях антропогенного воздействия [Лукина, 1996; Черненкова, 2004; Лянгузова, 2005; Михайлова и др., 2006; Bjerke et al., 2006; Сухарева, 2016; Vasconcelos et al., 2008; Кашулина и др., 2018; Kozlowski et al., 2019] и в меньшей степени характеризуют изменения под влиянием природных факторов [Стеблевская и др., 2006; Вершинина и др., 2009; Табаленкова и др., 2016; Сухарева, 2018; Робакидзе и др., 2020]. В этой связи актуальной задачей становится определение концентраций элементов в растениях ненарушенных, фоновых территорий. Оценка миграции и биологического поглощения макро- и микроэлементов растениями в почвах на разных элементах рельефа, являющихся взаимосвязанными звеньями ландшафтно-геохимических катен, также ранее не проводилась.

Таким образом, целью данной работы являлось изучение особенностей химического состава растений и биологического поглощения макро- и микроэлементов в геохимически сопряженных элементарных ландшафтах, широко распространенных в условиях ненарушенных среднетаежных ландшафтов.

## Материалы и методы

Исследования проводились в пределах государственного заповедника «Кивач», который расположен в юго-восточной части Балтийского кристаллического щита в среднетаежной подзоне Восточной Фенноскандии. Климат территории умеренный, переходный от морского к континентальному и характеризуется избыточным увлажнением. Развита ледниковая форма рельефа – узкие песчано-галечные гряды (озы), понижения часто заняты верховыми и переходными болотами, а также небольшими и мелкими озерами – ламбами. Кристаллическое основание территории и покрывающая его морена перекрыты флювиогляциальными гравийно-галечными песчаными отложениями. На территории заповедника доминируют древостои, сформированные сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

На правом берегу р. Суна в чистом сосновом насаждении заложена ландшафтно-геохимическая catena, проходящая от вершины до межозового понижения. Каждое звено catены соответствует определенному элементарному геохимическому ландшафту на уровне рода [Перельман, Касимов, 1999]: самое верхнее – элювиальный (автономный) ландшафт, среднее транзитное звено (склоны) – трансэлювиальный (верхняя часть склона) или элювиально-аккумулятивный (нижняя часть склона) ландшафт, самое нижнее аккумулятивное звено (заболоченный участок леса) – супераккумулятивный ландшафт.

Исследуемая территория сложена однородными почвообразующими породами – водно-ледниковыми отложениями, которые представляют собой пески разной степени сортированности. На автоморфных и транзитно-элювиальных позициях catены формируются подзолы иллювиально-железистые, на транзитно-аккумулятивных – подзолы иллювиально-железистые глеевые, в аккумулятивных – торфяно-глеевые почвы. Подзолы имеют легкий гранулометрический состав, хорошую дренированность и высокую степень аэрации, в них преобладают окислительные процессы. Почвы характеризуются кислой реакцией среды, ненасыщенны основаниями,

обеднены азотом и углеродом. В подчиненных позициях рельефа под сосняком багульниково-сфагновым формируются торфяные болотные и торфяно-глеевые почвы переходного типа. Профиль почв представляет собой слои торфа разной степени разложения, грунтовые воды находятся близко к поверхности. Торфяные почвы также имеют кислую реакцию среды, бедны органическим веществом. Зольность торфа низкая – не более 3 % в верхних слоях торфа, нижние слои торфа более высокозольные – до 8–9 %.

Напочвенный покров отличается бедностью видового состава, что является характерным для данного типа леса. Всего проанализировано 11 наиболее широко встречающихся видов растений (табл. 1), растительные образцы взяты для проведения лабораторных исследований на пробных площадях изучаемых элементарных ландшафтов в конце вегетационного периода (начало-середина сентября) [Родин и др., 1967]. Так как различные органы растений отличаются по степени накопления химических элементов [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Базилевич, Титлянова, 2008], отобранный материал делили на части. Ветви сосны разбирали на фракции – хвоя текущего года, однолетняя и многолетняя хвоя, а также мелкие ветви. Кустарнички разделяли на отдельные органы – подземные (корни) и надземные (листья и стебли). Мхи и лишайники также разделяли на части – зеленую (живую) и бурую (отмершую).

Образцы высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчали. Навески сухого материала озоляли в муфельной печи при температуре 500 °С, определение содержания макро- и микроэлементов проводилось методом атомно-адсорбционной спектроскопии.

Для выявления особенностей биогенной миграции химических элементов в системе «почва – растение» на основе полученных ранее данных о макро- и микроэлементном составе почв [Ахметова, 2019] были рассчитаны биогеохимические коэффициенты [Авессаломова, 1987]:

–  $Ax_2$  – коэффициент биологического поглощения (КБП), отражает потенциальную биогеохимическую подвижность элементов и рассчитывается как отношение элемента в золе растений к их среднему содержанию в почве. Элементы с  $Ax_2 > 1$  в различной степени «накапливаются» живым веществом. Остальные элементы, у которых  $Ax_2 < 1$ , лишь «захватываются».

–  $BXA_2$  – показатель биохимической подвижности вида растения, рассчитывается как

Таблица 1. Анализируемые виды растений

Table 1. Analyzed plant species

Вид растения Plant species	Элементарный геохимический ландшафт Elementary geochemical landscape		
	Автоморфный Automorphic	Транзитный Transit	Аккумулятивный Accumulative
<i>Pinus sylvestris</i> L.	+	+	+
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	+	+	+
<i>V. myrtillus</i> L.	+	+	+
<i>Ledum palustre</i> L.	-	-	+
<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.)	+	+	+
<i>Cladonia rangiferina</i> (L.) Weber ex F. H. Wigg.	+	+	+
<i>Ptilium crista-castrensis</i> (Hedw.) De Not.	+	-	-
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.	-	+	-
<i>Sphagnum magellanicum</i> Brid.	-	-	+
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	-	-	+
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	+	-	-

Примечание. Наличие (+) и отсутствие (-) вида на различных позициях катены.

Note. Presence (+) and absence (-) of species in different catena positions.

сумма всех коэффициентов  $Ax_2$ . Величина  $BXA_2$  зависит от количества исследуемых элементов, которые наиболее интенсивно поглощаются растениями. Данный показатель используется для характеристики суммарной интенсивности вовлечения химических элементов в биологический круговорот различными видами растений в определенных условиях их произрастания.

## Результаты и обсуждение

Проведенные ранее исследования [Ахметова, 2019] показали, что для почв изучаемой территории характерен дефицит большинства макро- и микроэлементов, особенно низкие коэффициенты концентрации рассчитаны для большинства микроэлементов. Это связано с тем, что распространенные на данной территории водно-ледниковые песчаные отложения, на которых формируются изучаемые почвы, отличаются очень бедным химическим составом. Выявлены особенности неоднородности химического состава почв в горизонтальном и вертикальном направлениях. Профиль подзолов неоднороден по химическому составу, радиальная дифференциация большинства элементов носит аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характер. Для почв автоморфных и транзитных ландшафтов характерно накопление в лесной подстилке элементов-биогенов (кальция, калия, цинка и марганца). В то же время с увеличением степени оторфованности подстилки происходит значительное снижение содержания макро- и микроэлементов. В ми-

неральной толще подзолов минимум их содержания наблюдается в подзолистом горизонте, а максимальное накопление – в нижележащем альфегумусовом горизонте. Изучаемые почвы также неоднородны в пространственном направлении, выявлена общая тенденция обеднения почв аккумулятивных позиций относительно автономных позиций, однако процессы латеральной дифференциации изучаемых элементов выражены слабо.

Анализ химического состава изучаемых видов растений показал, что содержание макро- и микроэлементов в них сильно варьирует. Как известно, одним из факторов, определяющих селективность накопления химических элементов, является видовая принадлежность растений [Битюцкий, 2005, 2010], также имеет значение место произрастания растений. Исследуемые виды растений можно разделить на группы в соответствии с их стратегией питания [Рассеянные..., 2004]: поглощающие элементы преимущественно из атмосферы – лишайники и мохообразные и преимущественно из почвы – кустарнички, деревья. В связи с этим коэффициенты  $Ax_2$  и  $BXA_2$  рассчитывались только для второй группы растений.

Лишайники и мохообразные являются важной составляющей напочвенного покрова изучаемой территории, их проективное покрытие на отдельных участках составляет до 80 % [Мошкина и др., 2019]. Известно, что мхи и лишайники большую часть питательных веществ поглощают из атмосферы, поэтому их часто используют в качестве индикаторов состояния окружающей среды [Бязров, 2002; Баргальи,

2005; Лянгузова, 2005; Nash, 2008; Вершинина и др., 2009; Опекунова, Гизетдинова, 2014; Gandois et al., 2014]. Однако эпигейные лишайники тесно контактируют с литосферными источниками питательных веществ, поэтому часть минеральных элементов питания может поступать и из почвы [Раменская, 1974]; особенно важно это учитывать на фоновых территориях, не испытывающих антропогенное воздействие [Рассеянные..., 2004]. Зольность лишайников небольшая – около 1–1,5 %, это ниже, чем зольность других растений. Наибольшая концентрация среди исследуемых макроэлементов в этих растениях приходится на калий – 0,1–0,2 %, остальных элементов содержится намного меньше (рис. 1).

Кустистый лишайник *Cladonia rangiferina* распространен на всех выделенных элементарных ландшафтах изучаемой катены. Влияния места произрастания на изменение содержания изучаемых макроэлементов не выявлено, в то время как для микроэлементов характерна тенденция к незначительному снижению концентрации в соответствии с нарастанием степени увлажнения. Также отмечено, что талломы лишайников при отмирании «теряют» калий, происходит уменьшение его концентрации в 1,5–2 раза. Это связано с тем, что калий является активным водным мигрантом и при разложении растения активно вымывается [Биеньковски и др., 2008]. Содержание кальция и железа в отмерших частях лишайников, напротив, немного увеличивается (в 1,2–1,5 раза), количество остальных изучаемых элементов почти не изменяется.

Другой лишайник, *Cetraria islandica*, менее распространен, он произрастает небольшими вкраплениями среди талломов *C. rangiferina*. По химическому составу исследуемые виды лишайников различаются незначительно, отмечено лишь более высокое (в 1,2–1,5 раза) содержание калия в *C. islandica*.

При сравнении с имеющимися данными о химическом составе изучаемых видов лишайников [Рассеянные..., 2004; Табаленкова и др., 2016; Сухарева, 2016, 2018] наши образцы отличаются более высоким содержанием марганца, особенно велики различия по сравнению с лишайниками Кольского полуострова. Вероятно, это связано с экологической ситуацией в регионах исследования. Известно, что в условиях загрязнения воздуха лишайники активно накапливают тяжелые металлы, которые способны ингибировать поступление марганца. Таким образом, низкое содержание микроэлементов – тяжелых металлов (кобальт, хром, медь, никель) и высокое – марганца в изучаемых видах лишайников может свидетельствовать

о том, что исследуемая территория не испытывает аэротехногенного загрязнения.

Из мохообразных в растительном покрове доминирует *Pleurozium schreberi*, в меньшей степени распространены *Hylocomium splendens* и *Ptilium crista-castrensis*, все исследуемые виды имеют сходный химический состав. Зеленые мхи, по сравнению с торфяными мхами, более высокозольные растения – до 2–3,5 % зольности на сухое вещество. По литературным данным, из минеральных элементов в зеленых мхах ненарушенных сообществ преобладают азот, калий, кальций, что определяет азотно-калиево-кальциевый тип биогеохимического круговорота [Лукина и др., 2008; Сухарева, 2018]. Эта информация согласуется с полученными нами результатами – из исследуемых элементов в химическом составе мхов преобладают калий – 0,3–0,5 % и кальций – 0,15–0,3 % (рис. 1). В отмершей части мхов, как и для лишайников, отмечена тенденция уменьшения содержания калия, в меньшей степени это характерно для фосфора. Содержание кальция, напротив, увеличивается.

Особенностью химического состава *P. schreberi* и *P. crista-castrensis* является высокая концентрация марганца – до 600–1000 мг/кг, однако отмечается резкое снижение уровня его концентрации во мхах, произрастающих в гидроморфных условиях (аккумулятивный ландшафт), что частично способствует низкому содержанию марганца в заторфованной подстилке формирующихся здесь почв [Ахметова, 2019]. Изменения содержания калия и кальция во мхах в соответствии с градиентом увлажнения не наблюдается, тогда как для фосфора и марганца характерно постепенное снижение концентрации с увеличением степени увлажнения. Выявлено увеличение содержания некоторых микроэлементов (цинка, никеля и кобальта) в отмершей части мхов, что связано с аккумуляцией их в течение жизни, концентрация же меди и хрома остается на прежнем уровне.

Для мхов-торфообразователей – *Sphagnum magellanicum* и *Polytrichum commune* – характерна более низкая зольность (около 2 %) по сравнению с зелеными мхами и, следовательно, низкое содержание исследуемых элементов (рис. 1). С этим согласуются полученные ранее данные, что торфяные горизонты формирующейся здесь торфяно-глеевой почвы характеризуются очень низкими значениями содержания как макро-, так и микроэлементов [Ахметова, 2019].

В составе травяно-кустарничкового яруса на всем протяжении катены преобладают черника *Vaccinium myrtillus* и брусника *V. vitis-idaea*.

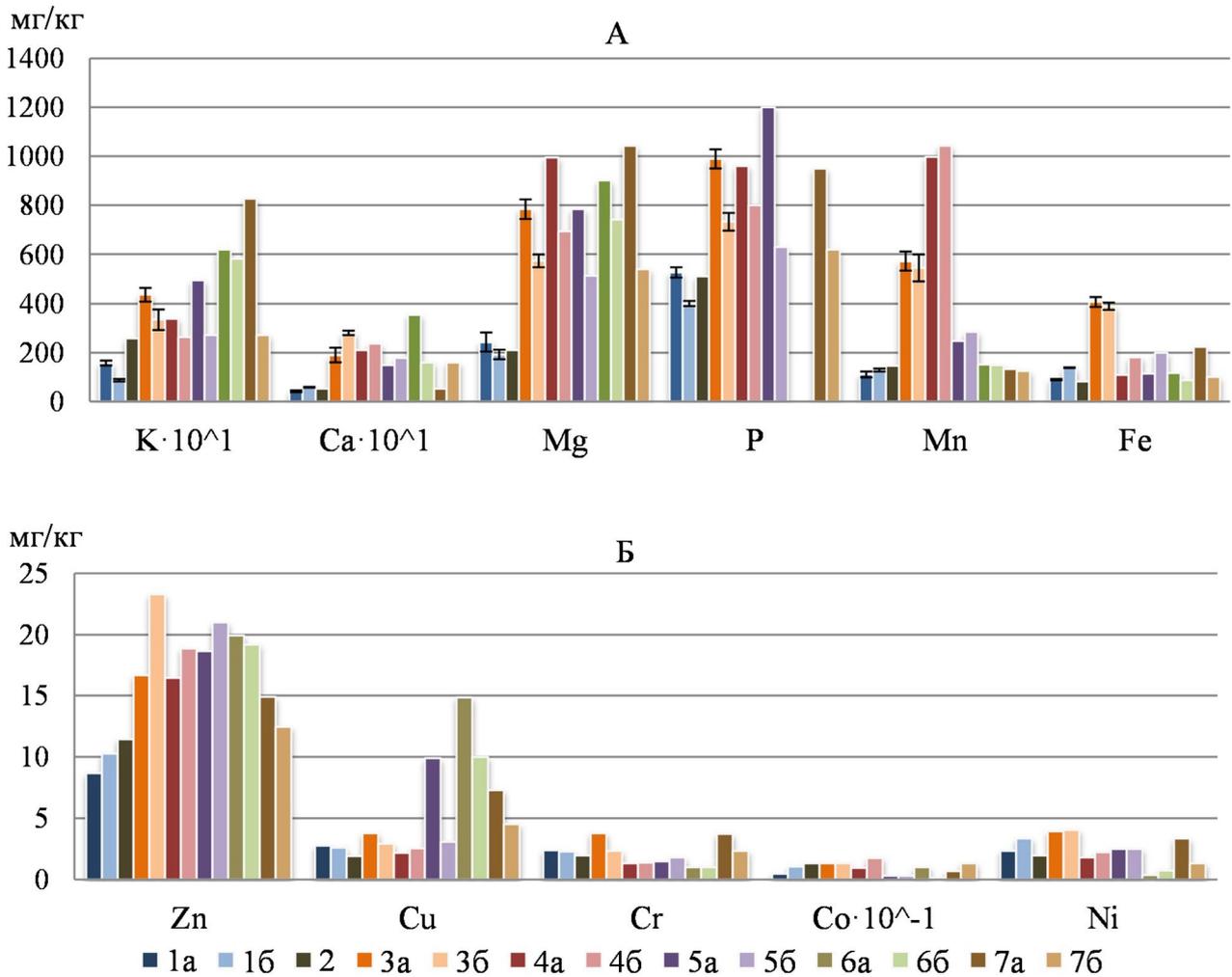


Рис. 1. Среднее содержание макро- (А) и микроэлементов (Б) в лишайниках и мхах, 1 – *C. rangiferina*, 2 – *C. islandica*, 3 – *P. schreberi*, 4 – *P. crista-castrensis*, 5 – *H. splendens*, 6 – *S. magellanicum*, 7 – *P. commune*, а – живая часть, б – отмершая часть

Fig. 1. Average macro- (A) and microelements content in lichens and mosses, 1 – *C. rangiferina*, 2 – *C. islandica*, 3 – *P. schreberi*, 4 – *P. crista-castrensis*, 5 – *H. splendens*, 6 – *S. magellanicum*, 7 – *P. commune*, а – living part, б – faded part

У кустарничков наибольшая зольность характерна для листьев – у черники 5 %, у брусники чуть меньше – 3,5–4,5 %. Для ветвей и корней этот показатель ниже – около 3 %. В наземных органах черники содержится очень высокое количество кальция – до 1,5 % (рис. 2), эти растения считаются кальцефагами [Ingestad..., 1973]. Как известно, в почвах с сильноокислой реакцией у черники развились адаптивные механизмы к активному поглощению кальция [Gjengedal, 1996]. Содержание калия в кустарничках намного меньше, чем кальция, – 0,4–0,5 %, также заметна тенденция к уменьшению содержания калия в корнях черники и брусники с увеличением степени увлажнения, тогда как для наземных органов это нехарактерно. В меньшей степени это характерно для магния и фосфора.

Черника и в меньшей мере брусника являются активными концентраторами марганца, т. к. этот элемент накапливается растениями, которые в значительных количествах содержат таниды [Битюцкий, 2005]. Наши исследования показали, что наибольшая концентрация марганца (до 0,3 %) характерна для листьев и стеблей данных растений, в корнях его концентрация резко снижается – в 2 и более раза. Также выявлена тенденция к уменьшению интенсивности биологического поглощения марганца черникой с увеличением увлажнения, это характерно и для брусники, но в меньшей степени.

В листьях черники также выявлено активное накопление микроэлементов – цинка, меди, хрома, кобальта и никеля. Это объясняется по-

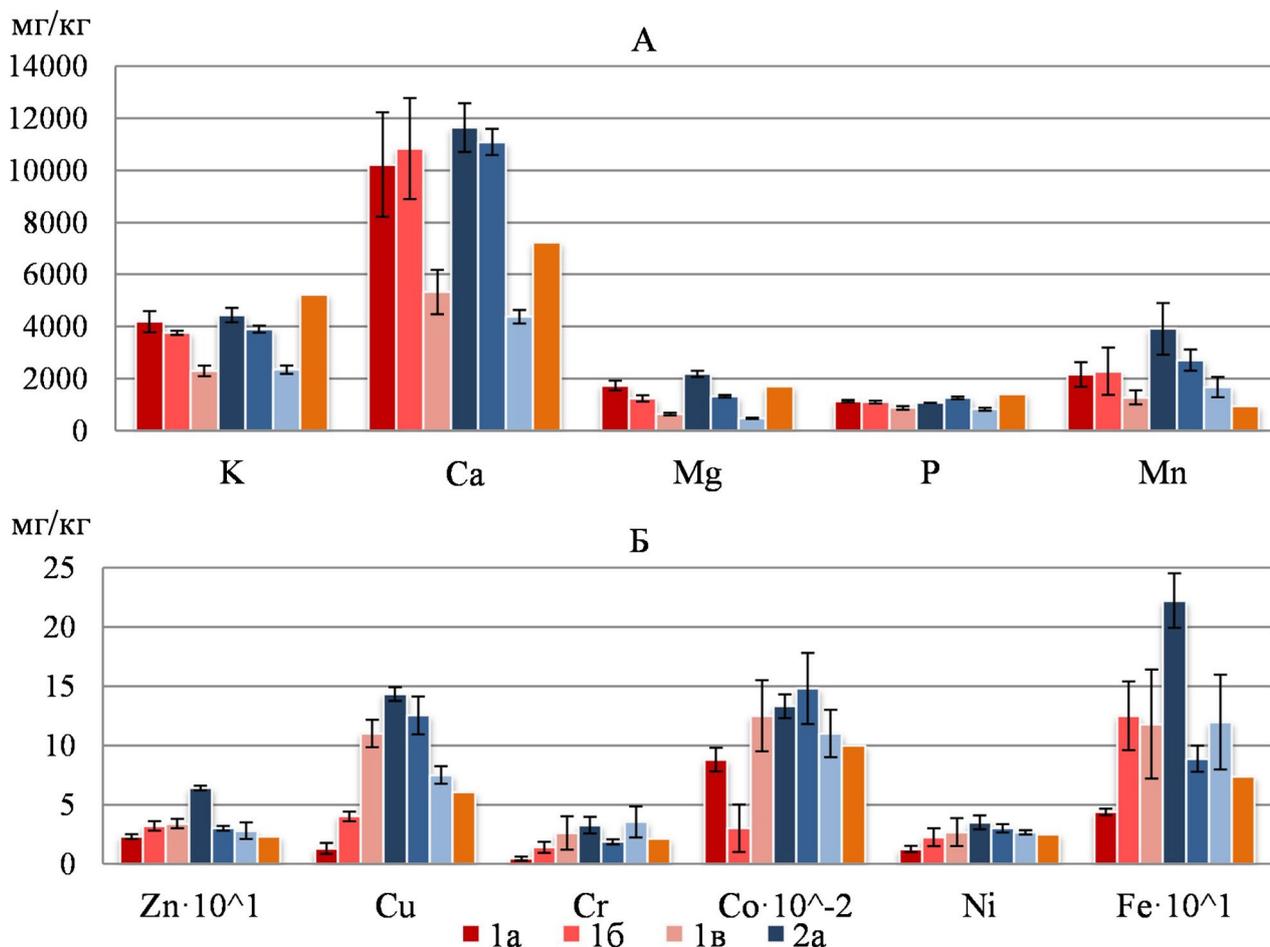


Рис. 2. Среднее содержание макро- (А) и микроэлементов (Б) в кустарничках: 1 – *V. vitis-idaea*, 2 – *V. myrtillus*, 3 – *L. palustre*, а – листья, б – стебли, в – корни

Fig. 2. Average macro- (A) and microelements (Б) content in subshrubs: 1 – *V. vitis-idaea*, 2 – *V. myrtillus*, 3 – *L. palustre*; а – leaves, б – stems, в – roots

вышенной активностью ферментов из-за высокой физиологической активности растущих тканей листа [Рассеянные..., 2004]. В ветвях и корнях содержание этих элементов существенно ниже.

Намного меньшими значениями содержания всех исследуемых элементов, кроме калия, среди изучаемых кустарничков отличается багульник *Ledum palustre* (рис. 2).

Среди древесных растений на всем протяжении исследуемой катены доминирует сосна обыкновенная, хвоя и мелкие ветви которой составляют существенную часть опада [Казимиров и др., 1977]. Исследования показали, что хвоя сосны имеет наибольшую зольность по сравнению с остальными частями дерева – от 1,4 до 2,7 %. В химическом составе хвои (рис. 3) доминируют калий (0,4–0,7 %) и кальций (0,4–0,8 %), почти на одном уровне (около 0,1 %) находится содержание марганца и магния. С увеличением возраста хвои концентрация подвижных макро-

элементов – калия и фосфора – постепенно снижается, то есть происходит процесс ретранслокации [Базилевич, Титлянова, 2008]. Также это характерно и для некоторых микроэлементов – меди и кобальта. Концентрация кальция, марганца, железа, напротив, более высокая в хвое старших возрастов, что свидетельствует о незначительной подвижности этих элементов (рис. 3). Данную тенденцию также отмечают при исследовании химического состава хвои сосны, произрастающей в загрязненных территориях [Черненкоова, 2004; Лукина и др., 2008].

Зольность ветвей сосны по сравнению с хвоей примерно в два раза ниже, среди изучаемых химических элементов преобладают кальций – до 0,6 % и калий – 0,4 %. Отмечается намного меньшая (в 5 раз) по сравнению с хвоей концентрация марганца в ветвях. В то же время некоторые микроэлементы (медь, хром и кобальт) содержатся в большем количестве, чем в хвое.

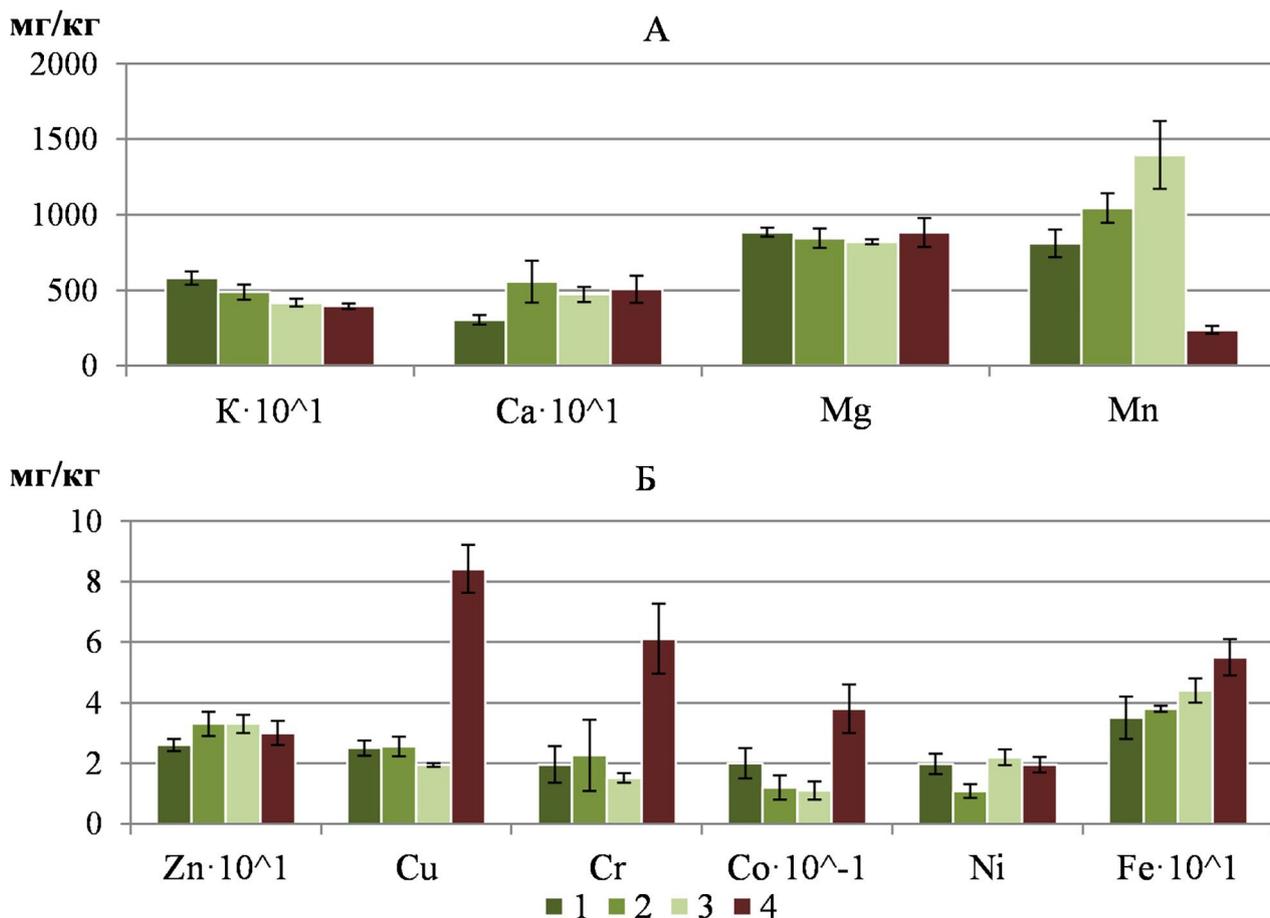


Рис. 3. Среднее содержание макро- (А) и микроэлементов (Б) в сосне: 1 – хвоя текущего года, 2 – однолетняя хвоя, 3 – многолетняя хвоя, 4 – мелкие ветви

Fig. 3. Average content of macro- (A) and microelements (B) in pines: 1 – current needle, 2 – one-year needle, 3 – perennial needle, 4 – fine branches

Не выявлено четкой тенденции к изменению содержания большинства макроэлементов в хвое сосны при нарастании степени увлажнения. В то время как концентрация микроэлементов в хвое и ветвях сосны, произрастающих в аккумулятивных позициях катены, нарастает (рис. 4).

На основе полученных данных химического состава растений (с почвенной стратегией питания) и почв, на которых они произрастают, рассчитаны коэффициенты биологического поглощения  $Ax_2$  изучаемых химических элементов и показатели биохимической подвижности БХА<sub>2</sub> (табл. 2).

Коэффициент биологического поглощения  $Ax_2$  отражает избирательность поглощения химических элементов растениями. Так, например, в условиях среднетаежной подзоны Восточной Фенноскандии кустарнички рода *Vaccinium* имеют большее сродство к марганцу. У сосны накопление марганца ниже, тем не менее для данного элемента также выявлены вы-

сокие коэффициенты биологического накопления в ее хвое –  $Ax_2 = 40-60$ , в старой хвое еще выше –  $Ax_2 = 70-90$ .

На основании рассчитанных коэффициентов  $Ax_2$  можно выделить группы изучаемых элементов по интенсивности накопления их в растениях.

Элементы биологического накопления:

- наиболее энергично накапливаемые элементы – марганец, кальций, калий;
- сильнонакапливаемые – магний, цинк, медь.

2. Элементы биологического захвата:

- группа слабого накопления и среднего захвата – кобальт, никель;
- группа слабого захвата – хром, натрий;
- группа слабого и очень слабого захвата – железо.

Наибольшей биогенностью среди изучаемых элементов выделяется марганец, который считается «поистине таежным элементом» [Нечаева, 1985, с. 90]. Самая высокая величина

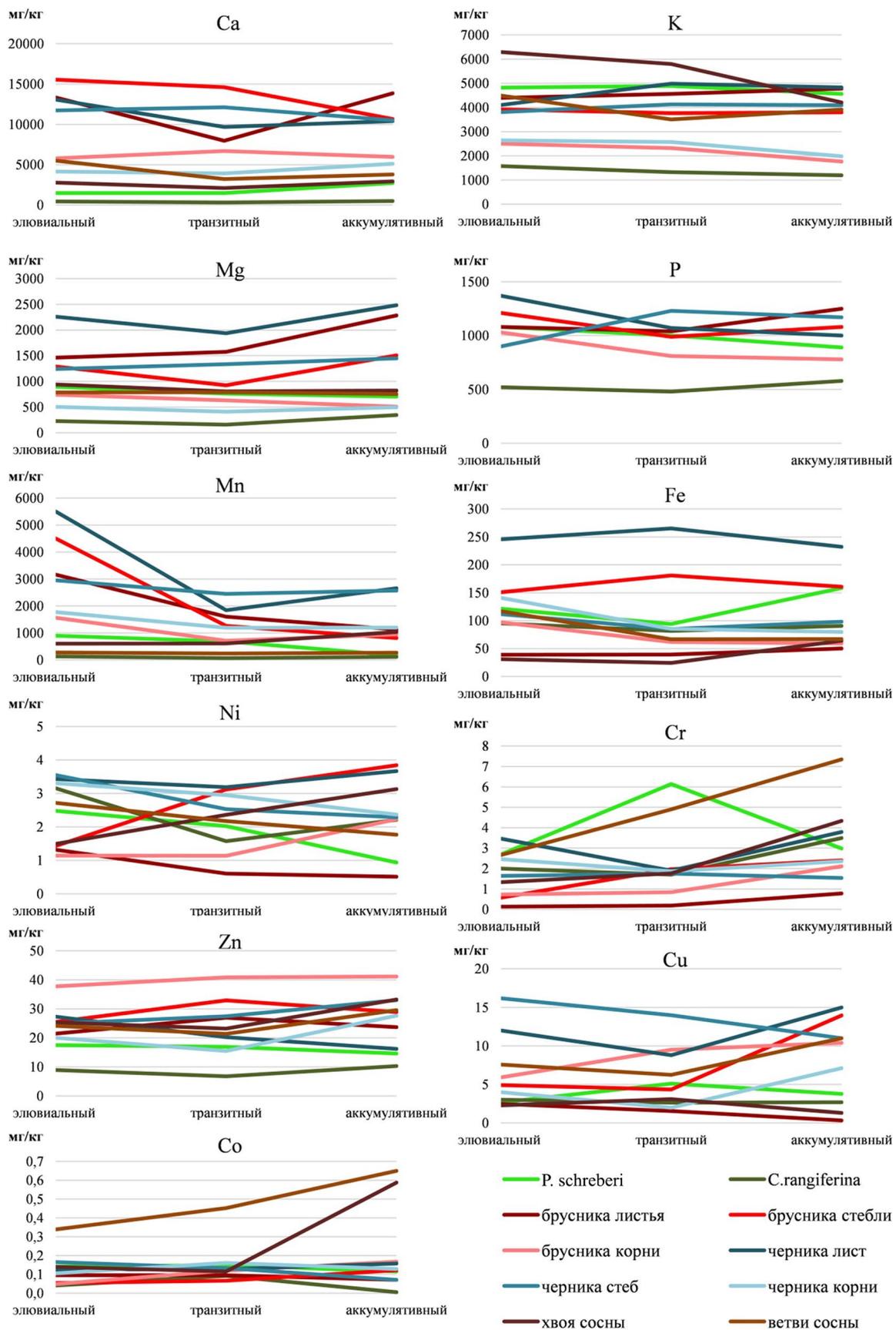


Рис. 4. Изменение содержания макро- и микроэлементов в растениях, произрастающих на разных элементах геохимической catena

Fig. 4. Variation of macro- and microelements content in plants growing in different catena positions

Таблица 2. Ряды коэффициентов биологического поглощения химических элементов растениями, произрастающими в различных позициях катены

Table 2. Coefficients of biological consumption of chemical elements by plants growing in different catena positions

Название растения Plant species	Фракция растения Part of a plant	Величина Ax2 / Mean Ax2					БХА <sub>2</sub>
		Более 100 More than 100	100–10	1–10	0,1–1	Менее 0,01 Less than 0.01	
Сосна обыкновенная Scots pine	хвоя-1 needle-1	-	Mn, Ca, K	Mg, Zn, Cu	Na, Ni, Co, Cr	Fe	72
	хвоя-2 needle-2	-	Mn, K	Ca, Cu, Mg, Zn	Na=Co=Cr Ni	Fe	86
	хвоя-3 needle-3	-	Mn, Ca, K	Zn, Mg	Cu, Co, Ni, Cr, Na	Fe	102
	ветви-1 branches-1	-	Ca, Mn	K, Zn, Cu, Mg, Cr	Ni, Co, Na	Fe	50
	ветви-2 branches-2	-	Mn, K,	Ca, Zn, Cu, Mg, Ni, Cr	Na, Co	Fe	43
	ветви-3 branches-3	-	Mn, Ca, K	Cu, Zn, Mg	Cr=Co, Ni, Na	Fe	51
Черника Billberry	листья-1 leaves-1	Mn	Ca, K	Cu, Mg, Zn	Ni, Cr, Na, Co	Fe	272
	листья-2 leaves-2	Mn	Ca, K	Zn, Mg, Cu	Co, Na, Ni, Cr	Fe	157
	листья-3 leaves-3	Mn	Ca, K	Cu, Mg, Ni, Zn	Cr, Na, Co	Fe	316
	стебли-1 stems-1	Mn	Ca, K	Cu, Mg, Zn	Ni, Na, Co, Cr	Fe	194
	стебли-2 stems-2	Mn	Ca, K	Zn, Cu, Mg	Na=Co, Ni, Cr	Fe	197
	стебли-3 stems-3	Mn	Ca, K	Cu, Mg, Zn	Ni, Na, Cr, Co	Fe	217
	корни-1 roots-1	-	Mn, Ca	K, Cu, Zn	Mg, Ni, Na, Cr, Co	Fe	112
	корни-2 roots-2	-	Mn	Ca, K, Zn, Cu	Mg, Co, Na, Ni, Cr	Fe	82
	корни-3 roots-3	-	Mn, Ca	K, Cu, Zn, Mg	Na, Ni, Cr, Co	Fe	105
Брусника Cowberry	листья-1 leaves-1	-	Mn, Ca, K	Mg, Zn	Cu, Ni, Co Na, Cr	Fe	133
	листья-2 leaves-2	-	Mn, Ca, K	Mg, Cu	Zn, Na, Cr=Co, Ni	Fe	133
	листья-3 leaves-3	-	Mn, Ca, K	Mg, Zn	Na, Cu=Cr=Co=Ni	Fe	138
	стебли-1 stems-1	-	Mn, Ca	K, Mg, Zn	Cu, Na=Co= Ni, Cr	Fe	101
	стебли-2 stems-2	-	Mn, Ca, K	Cu, Zn, Mg	Co, Ni, Na, Cr	Fe	127
	стебли-3 stems-3	-	Mn, Ca	K, Zn, Cu, Mg	Na=Ni, Cr=Co	Fe	109
	корни-1 roots-1	-	Mn, Ca	K, Cu, Zn, Mg	Na=Ni, Cr, Co	Fe	89
	корни-1 roots-1	-	Mn, Ca	K, Zn, Cu, Mg	Na, Cr=Co, Ni	Fe	74
	корни-1 roots-1	-	Mn, Ca	K, Zn, Cu, Mg	Na=Ni, Cr=Co	Fe	93
Багульник Marsh rose-mary	листья-3 leaves-3	-	Mn, Ca, K	Mg, Cu, Zn	Ni, Na=Cr, Co	Fe	85

Примечание. 1 – автоморфный, 2 – транзитный, 3 – аккумулятивный элементарный ландшафт.

Note. 1 – automorphic, 2 – transit, 3 – accumulative elementary landscape.

коэффициента  $Ax_2$  этого микроэлемента рассчитана для листьев черники – 100–150 и более. Марганец также активно накапливается в лесной подстилке и очень неравномерно распределен в минеральной части почв. Прослеживается некоторое увеличение коэффициента биологического накопления  $Ax_2$  марганца в растениях нижней части склона и аккумулятивных ландшафтов наравне со снижением количественного содержания данного микроэлемента в оторфованной подстилке.

Кальций и калий – макроэлементы энергичного биологического накопления, для магния выявлены более низкие коэффициенты биоаккумуляции в растениях. Данные элементы по-разному ведут себя в процессах накопления и миграции в системе «почва – растение». Калий очень интенсивно вымывается из отмершей растительности и лесной подстилки (особенно в гидроморфных условиях), так как не образует прочных соединений и мигрирует вниз по профилю почв. Кальций и магний, несмотря на то, что также являются выраженными водными мигрантами, способны активно накапливаться в подстилке.

Среди микроэлементов наиболее динамично участвуют в биогенном круговороте цинк и медь, они интенсивно накапливаются в растениях, особенно в ассимилирующих органах. Для остальных микроэлементов накопление в растениях нехарактерно. Особенно низкая биогенность свойственна железу – несмотря на то что содержание его в почвах достигает 2–3 %, по уровню концентрации в растениях он является микроэлементом.

Рассчитанный на основе  $Ax_2$  коэффициент биохимической подвижности  $BXA_2$  показывает суммарную интенсивность вовлечения химических элементов в биологический круговорот различными видами растений в определенных условиях их произрастания. Среди изучаемых видов растений самая высокая биохимическая активность характерна для черники –  $BXA_2 = 200–300$ . Таким образом, в условиях распространения сосновых среднетаежных лесов данный вид растений наиболее интенсивно вовлекает в биологический круговорот химические элементы. По величине  $BXA_2$  исследованные виды кустарничков формируют следующий ряд: черника > брусника > багульник.

Активность поглощения химических элементов растениями одного вида имеет общую тенденцию к небольшому изменению (увеличению для одних элементов и уменьшению для других) в зависимости от условий местообитания, определяемых положением в катене. Это во многом связано с природными особенностями

изучаемой территории – однообразными песчаными почвообразующими породами, пологим склоном, распространением однотипного растительного покрова. Выявлено, что сосна активнее участвует в биогенном поглощении элементов в аккумулятивном ландшафте, что также характерно и для кустарничков.

## Заключение

Изучение элементного состава доминирующих видов растений водно-ледникового ландшафта среднетаежной подзоны Карелии позволило установить их фоновые концентрации, характерные для исследуемой территории.

Анализ химического состава изучаемых видов растений показал, что содержание макро- и микроэлементов сильно варьирует и зависит от вида и фракции растения. Мхи, и особенно лишайники, характеризуются низкой зольностью и невысоким содержанием как макро-, так и микроэлементов. Низкое содержание микроэлементов, относящихся к тяжелым металлам, – никеля, меди, хрома, кобальта – свидетельствует об отсутствии азротехногенного загрязнения на исследуемой территории. Влияния места произрастания на изменение содержания изучаемых макроэлементов в лишайниках не выявлено, в то время как для микроэлементов характерна тенденция к снижению концентрации в соответствии с нарастанием степени увлажнения. У кустарничков наибольшая зольность характерна для листьев; для ветвей и корней этот показатель ниже. В наземных органах черники содержится очень высокое содержание кальция, в листьях высокая концентрация марганца, в меньшей степени это характерно и для брусники. В листьях черники также выявлено активное накопление микроэлементов – цинка, меди, хрома, кобальта и никеля. В хвое сосны содержание калия и кальция находится примерно на одном уровне. Также отмечается высокое содержание марганца и магния. Наблюдается ретранслокация во вновь образующие органы калия и фосфора, а также меди и кобальта.

На основе величин коэффициентов биологического поглощения  $Ax_2$  выделены группы изучаемых элементов по степени интенсивности вовлечения их в биологический круговорот. Наибольшей биогенностью среди изучаемых элементов выделяется марганец, а также кальций и калий, среди микроэлементов активно участвуют в биогенном круговороте цинк и медь. Для остальных микроэлементов нехарактерно накопление в растениях. Коэффициент биохимической подвижности показывает,

что самая высокая биохимическая активность среди изучаемых видов растений характерна для черники.

В целом выявлено, что для макроэлементов главным фактором изменчивости является видовая принадлежность растений и физиологические особенности организмов, в то время как для многих микроэлементов важное значение приобретают также и местные условия произрастания растений.

*Автор благодарит С. А. Кутенкова (Институт биологии КарНЦ РАН) за помощь в определении видов растений.*

*Данные получены с использованием оборудования ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН.*

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).*

## Литература

- Авессаломова И. А.* Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М.: МГУ, 1987. 108 с.
- Ахметова Г. В.* Геохимические особенности почв волнистой озерно-ледниковой песчаной равнины среднетаежной подзоны Карелии // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2019. № 100. С. 53–82. doi: 10.19047/0136-1694-2019-100-53-82
- Базилевич Н. И., Титлянова А. А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: СО РАН, 2008. 381 с.
- Баргальи Р.* Биогеохимия наземных растений: Экофизиологический подход к биомониторингу и биовосстановлению. М.: ГЕОС, 2005. 456 с.
- Биеньковски П., Титлянова А., Диттвалд Э., Шибарева С.* Изменение элементного состава фитомассы сфагновых мхов в процессе торфообразования // Вестник ТГПУ. 2008. Вып. 4(78). С. 30–35.
- Битюцкий Н. П.* Необходимые микроэлементы растений. СПб.: ДАЕН, 2005. 256 с.
- Битюцкий Н. П.* Микроэлементы высших растений. СПб.: СПбГУ, 2010. 367 с.
- Бязров Л. Г.* Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Научный мир, 2002. 336 с.
- Вершинина С. Э., Вершинин К. Е., Кравченко О. Ю., Чебыкин Е. П., Воднева Е. Н.* Элементный состав лишайников *P. cetraria* из различных регионов России // Химия растительного сырья. 2009. № 1. С. 141–146.
- Власова Н. В.* Ландшафтно-геохимическое состояние таежных экосистем в бассейне Нижней Тунгуски // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 100–107.
- Глазовская М. А.* Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М.: МГУ, 1964. 230 с.
- Енчилик П. Р., Асеева Е. Н., Семенов И. Н.* Биологическое поглощение и биогеохимическая подвижность микроэлементов в лесных ландшафтах Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника // Проблемы региональной экологии. 2018. № 4. С. 93–98. doi: 10.24411/1728-323X-2018-14093
- Ильин В. Б.* Элементный химический состав растений. М.: Наука, 1985. 129 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С., Иванчиков А. А., Морозова Р. М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
- Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М.* Особенности формирования химического состава ассимилирующих органов растений в условиях экстремального загрязнения выбросами медно-никелевого предприятия // Вестник КНЦ РАН. 2018. № 4(10). С. 39–45. doi: 10.25702/KSC.2307-5228.2018.10.4.39-45
- Лукина Н. В.* Сезонная динамика химического состава хвои сосны обыкновенной на Кольском полуострове // Лесоведение. 1996. № 1. С. 41–52.
- Лукина Н. В., Никонов В. В.* Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях азротехногенного загрязнения: В 2-х ч. Апатиты: КНЦ РАН, 1996. Ч. 1. 213 с., ч. 2. 192 с.
- Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А.* Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 345 с.
- Лянгузова И. В.* Тяжелые металлы в системе почва – растение: подвижность, поступление и распределение // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб.: ВВМ, 2005. С. 175–189.
- Михайлова Т. А., Бережная Н. С., Игнатьева О. В.* Элементный состав хвои и морфофизиологические параметры сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения. Иркутск: ИГ СО РАН, 2006. 134 с.
- Морозова Р. М.* Минеральный состав растений лесов Карелии. Петрозаводск, 1991. 100 с.
- Мошкина Е. В., Бахмет О. Н., Медведева М. В., Мамай А. В., Зачиняева А. В., Ткаченко Ю. Н.* Микробиологические особенности почв в растительных микрогруппировках среднетаежного сосняка брусничного в Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 11. С. 107–121. doi: 10.17076/eco1135
- Нечаева Е. Г.* Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. Иркутск: ИГ СО АН СССР, 1985. 210 с.
- Никонов В. В., Лукина Н. В.* Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: КНЦ РАН, 1994. 315 с.
- Опекунова М. Г., Гизетдинова М. Ю.* Использование лишайников в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2014. Сер. 7. Вып. 1. С. 79–94.
- Перельман А. И., Касимов Н. С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Раменская М. Л.* Микроэлементы в растениях Крайнего Севера. Л.: Наука, 1974. 159 с.

Рассеянные элементы в бореальных лесах / Ред. А. С. Исаев. М.: Наука, 2004. 616 с.

Робакидзе Е. А., Бобкова К. С., Наймушина С. И. Элементный состав доминирующих видов растений в среднетаежных сосняках разного возраста (на примере Республики Коми) // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56, вып. 1. С. 53–65.

Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 145 с.

Стеблевская Н. И., Медков М. А., Молчанов В. П., Полякова Н. В., Моисеенко Л. И., Зориков П. С., Батырбаева Н. В. Изучение биогеохимического накопления микроэлементов в почвах и растениях Дальнего Востока // Вестник ДО РАН. 2006. № 2(126). С. 57–63.

Сухарева Т. А. Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно нарушенных территорий // Ученые записки ПетрГУ. 2018. № 3(172). С. 89–96. doi: 10.15393/uchz.art.2018.130

Сухарева Т. А. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 4. С. 70–82. doi: 10.17076/eco259

Табаленкова Г. Н., Далькэ И. В., Головки Т. К. Элементный состав биомассы некоторых видов лишайников бореальной зоны на европейском Северо-Востоке // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2016. Т. 18, № 2. С. 221–225.

Тойкка М. А., Перевозчикова Е. М., Левкина Т. И., Заварзин А. М., Михкиев А. И., Изергина М. М. Микроэлементы в Карелии. Л.: Наука, 1973. 284 с.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Медведева М. В., Ахметова Г. В., Новиков С. Г., Ткаченко Ю. Н., Солодовников А. Н. Тяжелые металлы в почвах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 222 с.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 46 с.

Черненко Т. В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоно-

вых и техногенных местообитаниях // Лесоведение. 2004. № 2. С. 25–35.

Bjerke J., Tommervik H., Finne T. E., Jensen H., Lukina N., Barestuen V. Epiphytic lichen distribution and plant leaf heavy metal concentrations in Russian-Norwegian boreal forests influenced by air pollution from nickelcopper smelters // Boreal Environ Res. 2006. № 6. P. 441–450. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.029

Gandois L., Agnan Y., Leblond S., Sejalon-Delmas N., Le Roux G., Probst A. Use of geochemical signatures, including rare earth elements, in mosses and lichens to assess spatial integration and the influence of forest environment // Atmos. Environ. 2014. Vol. 95. P. 96–104. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.029

Gjengedal E. Effects of soil acidification on foliar leaching and retranslocation of metals in vascular plants // Water, Air, & Soil Pollution. 1996. No. 86. P. 221–234.

Grand S., Hudson R., Lavkulich L. M. Effect of forest harvest on soil nutrients and labile ions in podzols of southwestern Canada: mean and dispersion effects // Catena. 2014. Vol. 122. P. 18–26. doi: 10.1016/j.catena.2014.06.004

Ingestad T. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis-idaea* and *Vaccinium myrtillus* // Phisiol. Plant. 1973. No. 29. P. 239–246.

Kozłowski R., Szwed M., Zukowski W. Pine needles as bioindicator of pollution by trace elements from cement-limestone industry in central-eastern Poland // Carpathian J. Earth Environ. Sci. 2019. Vol. 14, no. 2. P. 541–549. doi: 10.26471/cjees/2019/014/102

Nash III T. H. Nutrients, elemental accumulation, and mineral cycling // Lichen biology. Camb. Univ. Press, 2008. P. 234–251. doi: 10.1017/CBO9780511790478.013

Vasconcelos S. D., Carbral J. P., Freitas C. M., Pacheco A. M. G. Copper, nickel, lead in lichens and tree bark transplants over different period of time // Environ. Pollut. 2008. Vol. 151. P. 408–413. doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.004

Поступила в редакцию 14.04.2020

## References

Avessalomova I. A. Geokhimicheskie pokazateli pri izuchenii landshaftov [Geochemical features in studies of landscapes]. Moscow: MGU, 1987. 108 p.

Akhmetova G. V. Geokhimicheskie osobennosti pochv volnistoi ozerno-lednikovoi peschanoi ravniny srednetaezhnoi podzony Karelii [Geochemical features of soils in an undulating glaciolacustrine sandy plain in the middle taiga subzone of Karelia]. *Byull. Pochv. in-ta im. V. V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bull.]. 2019. No. 100. P. 53–82. doi: 10.19047/0136-1694-2019-100-53-82

Bazilevich N. I., Titlyanova A. A. Bioticheskie krugovorot na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh nazemnykh ekosistemakh [Biotic turnover on five continents: element exchange processes in terrestrial natural ecosystems]. Novosibirsk: SO RAN, 2008. 381 p.

Bargal'i R. Biogeokhimiya nazemnykh rastenii: Ekofiziologicheskii podkhod k biomonitoringu i biovostanovleniyu [Biogeochemical approach to biomonitor-

ing and biological restoration]. Moscow: GEOS, 2005. 456 p.

Bien'kovski P., Titlyanova A., Dittvald E., Shibareva S. Izmenenie elementnogo sostava fitomassy sfagnovykh mkhov v protsesse torfoobrazovaniya [Change of elemental composition of sphagnum mosses during peat formation processes]. *Vestnik TGPU* [Tomsk St. Pedagogical Univ. Bull.]. 2008. Iss. 4(78). P. 30–35.

Bityutskii N. P. Neobkhodimye mikroelementy rastenii [Essential microelements for plants]. St. Petersburg: DAEN, 2005. 256 p.

Bityutskii N. P. Mikroelementy vysshikh rastenii [Microelements of higher plants]. St. Petersburg: SPbGU, 2010. 367 p.

Byazrov L. G. Lishainiki v ekologicheskom monitoringe [Lichens in ecological monitoring]. Moscow: Nauchnyi mir, 2002. 336 p.

Chernen'kova T. V. Zakonomernosti akumulatsii tyazhelykh metallov sosnoi obyknovnoy v fonovykh i

tekhnogennykh mestoobitaniyakh [Regularities of heavy metal accumulation by Scots pine in modal and technogenic sites]. *Lesovedenie* [Silvics]. 2004. No. 2. P. 25–35.

*Enchilik P. R., Aseeva E. N., Semenov I. N.* Biologicheskoe pogloshchenie i biogeokhimicheskaya podvizhnost' mikroelementov v lesnykh landshaftakh Tsentral'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika [Biological uptake and biogeochemical mobility of microelements in forest landscapes of the Central Forest State Biosphere Nature Reserve]. *Probl. regional'noi ekol.* [Probl. of Regional Ecol.]. 2018. No. 4. P. 93–98.

*Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Medvedeva M. V., Akhmetova G. V., Novikov S. G., Tkachenko Yu. N., Solodovnikov A. N.* Tyazhelye metally v pochvakh Karelii [Heavy metals in soils of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 222 p.

*Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K.* Pochvy Karelii: geokhimicheskii atlas [Soils of Karelia: a geochemical atlas]. Moscow: Nauka, 2008. 46 p.

*Glazovskaya M. A.* Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniya prirodnikh landshaftov [Geochemical basis of typology and research methodology of natural landscapes]. Moscow: MGU, 1964. 230 p.

*Il'in V. B.* Elementnyi khimicheskii sostav rastenii [Elementary and chemical composition of plants]. Moscow: Nauka, 1985. 129 p.

*Kabata-Pendias A., Pendias X.* Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Microelements in soils and plants]. 1989. 439 p.

*Kashulina G. M., Litvinova T. I., Korobeinikova N. M.* Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava assimiliruyushchikh organov rastenii v usloviyakh ekstremal'nogo zagryazneniya vybrosami medno-nikelevogo predpriyatiya [Inorganic plant chemistry under extreme pollution by emission from copper-nickel industrial complex]. *Vestnik KNTs RAN* [Herald of the Kola Sci. Centre RAS]. 2018. No. 4(10). P. 39–45.

*Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zhabchenko S. S., Ivanchikov A. A., Morozova R. M.* Obmen veshchestv i energii v osnovnykh lesakh Evropeiskogo Severa [Metabolism in pine forests of European North]. Leningrad: Nauka, 1977. 304 p.

*Lukina N. V.* Sezonnaya dinamika khimicheskogo sostava khvoi sosny obyknovnoy na Kol'skom poluostrove [Seasonal dynamics of chemical composition of pine needle on the Kola Peninsula]. *Lesovedenie* [Silvics]. 1996. No. 1. P. 41–52.

*Lukina N. V., Nikonov V. V.* Biogeokhimicheskie tsikly v lesakh severa v usloviyakh aerotekhnogennogo zagryazneniya: v 2 ch. [Biogeochemical cycles in northern forest under aerotechnogenic contamination: in 2 parts]. Apatity: KNTs RAN, 1996. Pt. 1. 213 p., Pt. 2. 192 p.

*Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A.* Pital'nyi rezhim pochv severotaezhnykh lesov [Nutrient status of soils of northern taiga]. Moscow: Nauka, 2008. 345 p.

*Lyanguzova I. V.* Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie: podvizhnost', postuplenie i raspredelenie [Heavy metals in a soil-plant system: mobility, input, and distribution]. *Probl. ekol. rastitel'nykh soobshchestv*

*Severa* [Probl. of ecol. of Northern plant communities]. St. Petersburg: VVM, 2005. P. 175–189.

*Mikhailova T. A., Berezhnaya N. S., Ignat'eva O. V.* Elementnyi sostav khvoi i morfologicheskieskie parametry sosny obyknovnoy v usloviyakh tekhnogennogo zagryazneniya [Elementary composition of needles and morphological characteristics of Scots Pine under technogenic pollution]. Irkutsk: IG SO RAN, 2006. 134 p.

*Morozova R. M.* Mineral'nyi sostav rastenii lesov Karelii [Mineral status of forests in Karelia]. Petrozavodsk, 1991. 100 p.

*Moshkina E. V., Bakhmet O. N., Medvedeva M. V., Mamai A. V., Zachinyaeva A. V., Tkachenko Yu. N.* Mikrobiologicheskie osobennosti pochv v rastitel'nykh mikrogruppировkakh srednetaezhnogo sosnyaka brusnichnogo v Karelii [Microbiological characteristics of soils under vegetation microgroups in a middle-taiga cowberry pine forest in Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2019. No. 11. P. 107–121. doi: 10.17076/eco1135

*Nechaeva E. G.* Landshaftno-geokhimicheskii analiz dinamiki taezhnykh geosystem [Landscape-geochemical analysis of taiga geosystem dynamics]. Irkutsk: IG SO AN SSSR, 1985. 210 p.

*Nikonov V. V., Lukina N. V.* Biogeokhimicheskie funktsii lesov na severnom predele rasprostraneniya [Biogeochemical functions of forest in northern edge of their distribution]. Apatity: KNTs RAN, 1994. 315 p.

*Opekunova M. G., Gizetdinova M. Yu.* Ispol'zovanie lishainikov v kachestve bioindikatorov zagryazneniya okruzhayushchei sredy [Using of lichens as bioindicators of environmental pollution]. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo univ.* [Herald St. Petersburg Univ.]. 2014. Vol. 7, no. 1. P. 79–94.

*Perel'man A. I., Kasimov N. S.* Geokhimiya landshafta [Geochemistry of landscape]. Moscow: As-treya-2000, 1999. 768 p.

*Ramenskaya M. L.* Mikroelementy v rasteniyakh Krainego Severa [Microelements in plants in the Extreme North]. Leningrad: Nauka, 1974. 159 p.

*Rasseyannye elementy v boreal'nykh lesakh* [Trace elements in boreal forests]. Ed. A. S. Isaev. Moscow: Nauka, 2004. 616 p.

*Robakidze E. A., Bobkova K. S., Naimushina S. I.* Elementnyi sostav dominiruyushchikh vidov rastenii v srednetaezhnykh sosnyakh raznogo vozrasta (na primere Respubliki Komi) [Elemental composition of dominating plant species in different aged middle-taiga pine forests of the Republic of Komi]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2020. Vol. 56, iss. 1. P. 53–65.

*Rodin L. E., Remezov N. P., Bazilevich N. I.* Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh [Guidelines for studying dynamics and biocycles in phytocenosis]. Leningrad: Nauka, 1967. 145 p.

*Steblevskaya N. I., Medkov M. A., Molchanov V. P., Polyakova N. V., Moiseenko L. I., Zorikov P. S., Batyrbayeva N. V.* Izuchenie biogeokhimicheskogo nakopleniya mikroelementov v pochvakh i rasteniyakh Dal'nego Vostoka [Investigation of biogeochemical accumulations in soils and plants of the Far East]. *Vestnik DO RAN* [Vestnik of the Far East Br. RAS]. 2006. No. 2(126). P. 57–63.

Sukhareva T. A. Elementnyi sostav zelenykh mkhov fonovykh i tekhnogenno narushennykh territorii [The green moss elemental composition of the background and industrially disturbed areas]. *Uchenye zapiski PetrGU* [Proceed. Petrozavodsk St. Univ.]. 2018. No. 3(172). P. 89–96. doi: 10.15393/uchz.art.2018.130

Sukhareva T. A. Elementnyi sostav tallomov lishainika *Cladonia stellaris* v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya [Element composition of lichen of *Cladonia stellaris* under air pollution]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 4. P. 70–82. doi: 10.17076/eco259

Tabalenkova G. N., Dal'ke I. V., Golovko T. K. Elementnyi sostav biomassy nekotorykh vidov lishainikov boreal'noi zony na evropeiskom Severo-Vostoke [Biomass elemental composition of some lichen species in the boreal zone of European North-East]. *Izv. Samar'skogo nauch. tsentra RAN* [Proceed. Samara Sci. Center RAS]. 2016. Vol. 18, no. 2. P. 221–225.

Toikka M. A., Perevozchikova E. M., Levkina T. I., Zavarzin A. M., Mikhkiev A. I., Izergina M. M. Mikroelementy v Karelii [Trace elements in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1973. 284 p.

Vershinina S. E., Vershinin K. E., Kravchenko O. Yu., Chebykin E. P., Vodneva E. N. Elementnyi sostav lishainikov *P. setraria* iz razlichnykh regionov Rossii [Element structure of lichens *P. setraria* in various regions of the Russian Federation]. *Khim. rast. syr'ya* [Chem. of Plant Materials]. 2009. No. 1. P. 141–146.

Vlasova N. V. Landshaftno-geokhimicheskoe sostoyanie taezhnykh ekosistem v basseine Nizhnei Tunguski [Landscape-geochemical condition of middle taiga geosystems]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Nat. Resources]. 2011. No. 2. P. 100–107.

Bjerke J., Tommervik H., Finne T. E., Jensen H., Lukina N., Barestuen V. Epiphytic lichen distribution

and plant leaf heavy metal concentrations in Russian-Norwegian boreal forests influenced by air pollution from nickelcopper smelters. *Boreal Environ. Res.* 2006. No. 6. P. 441–450. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.029

Gandois L., Agnan Y., Leblond S., Sejalon-Delmas N., Le Roux G., Probst A. Use of geochemical signatures, including rare earth elements, in mosses and lichens to assess spatial integration and the influence of forest environment. *Atmos. Environ.* 2014. Vol. 95. P. 96–104. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.029

Gjengedal E. Effects of soil acidification on foliar leaching and retranslocation of metals in vascular plants. *Water, Air, & Soil Pollution.* 1996. No. 86. P. 221–234.

Grand S., Hudson R., Lavkulich L. M. Effect of forest harvest on soil nutrients and labile ions in podzols of southwestern Canada: mean and dispersion effects. *Catena.* 2014. Vol. 122. P. 18–26. doi: 10.1016/j.catena.2014.06.004

Ingestad T. Mineral nutrient requirements of *Vaccinium vitis-idaea* and *Vaccinium myrtillus*. *Physiol. Plant.* 1973. No. 29. P. 239–246.

Kozłowski R., Szwed M., Zukowski W. Pine needles as bioindicator of pollution by trace elements from cement-limestone industry in central-eastern Poland. *Carpathian J. Earth Environ. Sci.* 2019. Vol. 14, no. 2. P. 541–549. doi: 10.26471/cjees/2019/014/102

Nash III T. H. Nutrients, elemental accumulation, and mineral cycling. *Lichen biology.* Camb. Univ. Press, 2008. P. 234–251. doi: 10.1017/CBO9780511790478.013

Vasconcelos S. D., Carbral J. P., Freitas C. M., Pacheo A. M. G. Copper, nickel, lead in lichens and tree bark transplants over different period of time. *Environ. Pollut.* 2008. Vol. 151. P. 408–413. doi: 10.1016/j.envpol.2007.06.004

Received April 14, 2020

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

### Ахметова Гульнара Вялитовна

старший научный сотрудник лаб. лесного почвоведения, к. б. н.

Институт леса КарНЦ РАН,

Федеральный исследовательский центр

«Карельский научный центр РАН»

ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,

Россия, 185910

эл. почта: akhmetovagv@gmail.com

## CONTRIBUTOR:

### Akhmetova, Gulnara

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,

Russian Academy of Sciences

11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia

e-mail: akhmetovagv@gmail.com

УДК 574.583

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ РАЗВИТИЕМ ФИТОПЛАНКТОНА И КИСЛОРОДНЫМ РЕЖИМОМ УСТЬЕВОЙ ОБЛАСТИ РЕКИ

**К. И. Абрамова, Р. П. Токинова, Н. Р. Водунон, Р. Р. Шагидуллин,  
Н. В. Шурмина**

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан,  
Казань, Россия*

В фитопланктоне устьевой области реки Казанки (левый приток Куйбышевского водохранилища) в летний период 2017–2020 гг. по индексу плотности преобладали Cyanophyta (июль–август) и Bacillariophyta (июнь). Среди синезеленых водорослей развивались преимущественно нитчатые формы – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek; среди диатомовых – центричные формы диатомей (*Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp.). Содержание растворенного кислорода в поверхностном слое воды не опускалось ниже нормативных значений (ПДК<sub>рх</sub>) и варьировало в пределах 6,2–17,0 мгО<sub>2</sub>/л. Превышение ПДК<sub>рх</sub> легкоокисляемого органического вещества по показателю БПК<sub>5</sub> составило 1,4–3,7 раза. Корреляционный анализ позволил выявить умеренную и/или сильную тесноту связи таксономического состава и обилия фитопланктонного сообщества с показателями кислородного режима в поверхностном слое реки. Обогащение воды кислородом связано преимущественно с развитием зеленых (коэффициент Спирмена 0,69,  $p < 0,05$ ) и диатомовых (0,56) водорослей; образование органического вещества в воде – с развитием синезеленых (0,69), динофитовых (0,69) и диатомовых (0,74). Метеорологические (температура воздуха, количество выпавших осадков) и временные (год, месяц наблюдений) факторы влияют на индекс плотности фитопланктона, содержание растворенного кислорода, ХПК и БПК<sub>5</sub> в устьевой области р. Казанки (по тесту Краскела – Уоллиса,  $p < 0,05$ ).

**Ключевые слова:** фитопланктон; индекс плотности; растворенный кислород; органическое вещество; устьевая область; река Казанка.

**K. I. Abramova, R. P. Tokinova, N. R. Vodounon, R. R. Shagidullin,  
N. V. Shurmina. ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN PHYTOPLANKTON  
AND OXYGEN REGIME IN RIVER MOUTH AREA**

In the summer seasons of 2017–2020, Cyanophyta (July – August) and Bacillariophyta (June) prevailed in phytoplankton in the mouth of the Kazanka River (left-hand tributary to Kuibyshevskoe storage reservoir). Cyanobacteria were mostly represented by filamentous forms – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault and *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek; diatoms were predominantly centric (*Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp.). The dissolved oxygen content in the surface water layer did not fall below standard values for fishery wa-

ters (MPC<sub>f</sub>) and varied within 6.2–17.0 mgO<sub>2</sub>/l. Easily oxidizable organic matter expressed as BOD<sub>5</sub> exceeded MPC<sub>f</sub> 1.4–3.7-fold. Correlation analysis revealed a moderate and/or strong relationship between the taxonomic composition and abundance of the phytoplankton community on the one hand and oxygen regime parameters in the river's surface water layer on the other. Water enrichment with oxygen is mainly associated with the development of green algae (Spearman's coefficient at 0.69,  $p < 0.05$ ) and diatoms (0.56); organic matter formation in the water – with the development of cyanobacteria (0.69), dinophytes (0.69), and diatoms (0.74). Meteorological (air temperature, precipitation) and temporal (year, month of observations) factors influence the phytoplankton density index, dissolved oxygen content, COD and BOD<sub>5</sub> in the mouth of the Kazanka River (according to the Kruskal-Wallis test,  $p < 0.05$ ).

**Key words:** phytoplankton; density index; dissolved oxygen; organic matter; river mouth; Kazanka River.

## Введение

Повсеместное загрязнение водоемов и водотоков увеличивает интерес к изучению возможностей естественного восстановления качества вод и процессов, важных для самоочищения [Остроумов, 2003; Akbaeva et al., 2019], в частности, окислительного фотосинтеза, сопровождающегося выделением кислорода в воду хлорофиллоносными растениями, фитопланктоном [Книпович, 1932; Falkowski, 1994; Rocha et al., 2009]. Одним из основных показателей качества воды является содержание растворенного кислорода, участвующего в окислении органических соединений. Кислородный режим водоемов зависит от многих факторов, в частности, от интенсивности продукционно-деструкционных процессов в водной массе, обменных процессов на границе воды и атмосферы [Даценко, Пуклаков, 2020]. В большинстве водоемов с низкой проточностью существенную роль в обогащении воды кислородом играет фотосинтетическая деятельность водных растений, в частности, фитопланктона [Десяткин, Метелева, 2012].

Для водоемов рыбохозяйственного назначения предельно допустимая концентрация (ПДК<sub>рх</sub>) растворенного кислорода составляет 6,0 мгO<sub>2</sub>/л. Снижение его концентрации до критических значений усиливает процесс эвтрофикации водоема [Hupfer, Lewandowski, 2008; Dekun et al., 2013; Шатрова и др., 2016], вызывает гибель рыб и других гидробионтов [Golam, 2014; Gilmore et al., 2019].

Устьевая область реки Казанки, находящаяся в зоне подпора водами Куйбышевского водохранилища [Мозжерин и др., 2012; Гидроэкология..., 2015], располагается в черте г. Казани (Республика Татарстан). Являясь слабопроточным водным объектом, принимающим значительные объемы ливневых сточных вод с городской территории, устьевая область под-

вержена эвтрофикации, «цветению» воды водорослями и, как следствие, активному потреблению растворенного кислорода на окисление легкоокисляемых форм органического вещества (в том числе выделяемого фитопланктоном) в воде. В летний период здесь отмечаются значительные показатели биохимического и химического потребления кислорода, активное его вовлечение в окисление органических соединений, приводящее к возникновению локального дефицита O<sub>2</sub> в воде [Валиев и др., 2018]. В этот же период наблюдается массовое развитие Cyanophyta (по численности и биомассе) с доминированием *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek. Немаловажная роль в формировании структурных характеристик фитопланктона принадлежит Bacillariophyta, Chlorophyta, Cryptophyta и Miozoa (класс Dinophyceae) [Абрамова и др., 2020].

В связи с вышеизложенным, а также с отсутствием исследований по взаимосвязи фитопланктона с показателями кислородного режима в устьевой области р. Казанки целью данной работы является проведение корреляционного анализа между содержанием в воде растворенного кислорода и количественным обилием фитопланктона.

## Материалы и методы

Исследования проведены в ходе комплексной экспедиции Института проблем экологии и недропользования АН РТ (г. Казань) в устьевой области р. Казанки. Гидробиологические (фитопланктон) и гидрохимические (содержание растворенного кислорода (O<sub>2</sub>, мгO<sub>2</sub>/л), химическое потребление кислорода (ХПК, мгO<sub>2</sub>/л), биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>, мгO<sub>2</sub>/л)) пробы отобраны на 14 станциях, расположенных на 6-километровом участке реки (от N55°51'03.16", E49°09'36.97"

до N55°48'26.39", E49°08'38.73"). Отбор производился ежемесячно с июня по август 2017–2020 гг. из поверхностного слоя воды в первой половине дня (10.00–13.00). Всего за период исследований отобрано 84 количественные и качественные пробы. Сбор и обработка проб фитопланктона выполнены по общепринятым методикам [Методика..., 1975]. Пробы, зафиксированные раствором Люголя, концентрированы фильтрацией через мембранные фильтры марки «Владипор» № 9 (с диаметром пор около 0,5 мкм) с применением вакуумного насоса. Подсчет и измерение водорослей проведены в камере Горяева (объем 0,9 мкл) в трех повторностях; биомасса определена счетно-объемным методом. Для идентификации видовой принадлежности водорослей использованы отечественные руководства: «Определитель пресноводных водорослей СССР» в 13 томах (1951–1986 гг.), «Определитель диатомовых водорослей России» [Куликовский и др., 2016]; из зарубежных руководств использовали определители серий «Süßwasserflora von Mitteleuropa» (1983–2005 гг.). При составлении списка видов учтены современные номенклатурные преобразования, представленные на сайте Algaebase [Guiry, Guiry, 2020]. При обработке отдельных таксономических групп водорослей руководствовались источниками: по синезеленым – [Komarek, Anagnostidis, 1998, 2005], диатомовым – [Lange-Bertalot, 2013; Куликовский и др., 2016], зеленым – [Ruggiero et al., 2015], золотистым – [Preisig, 1995] и динофитовым – [Popovsky, Pfiester, 1990; Крахмальский, 2011].

В гидробиологии при изучении сообществ все чаще применяют комбинированные показатели, включающие несколько количественных параметров (численность ( $N$ ), биомасса ( $B$ ), встречаемость ( $P$ ) и т. д.). Особенно широкое применение нашли различные модификации индекса плотности Бродской – Зенкевича [Количественные..., 2005]. Учитывая, что в мелководных зонах (какой является исследуемый устьевой участок р. Казанки) показатель состояния популяции зависит и от биомассы, и от численности [Денисов, 1972], для оценки количественных характеристик фитопланктона нами использован индекс плотности ( $Ip$ ), вычисляемый по формуле  $\sqrt{B \times N}$ , где  $B$  – биомасса вида,  $N$  – численность вида [Шитиков и др., 2003]. К доминирующим видам/отделам отнесены таксоны с индексом плотности  $> 10\%$  от суммарного индекса плотности общего фитопланктона; к субдоминирующим – с  $Ip$ , равным 5–10 %.

Анализ по определению содержания растворенного кислорода, ХПК и БПК<sub>5</sub> в воде вы-

полнен в лаборатории эколога-аналитических измерений и мониторинга окружающей среды ИПЭН АН РТ.

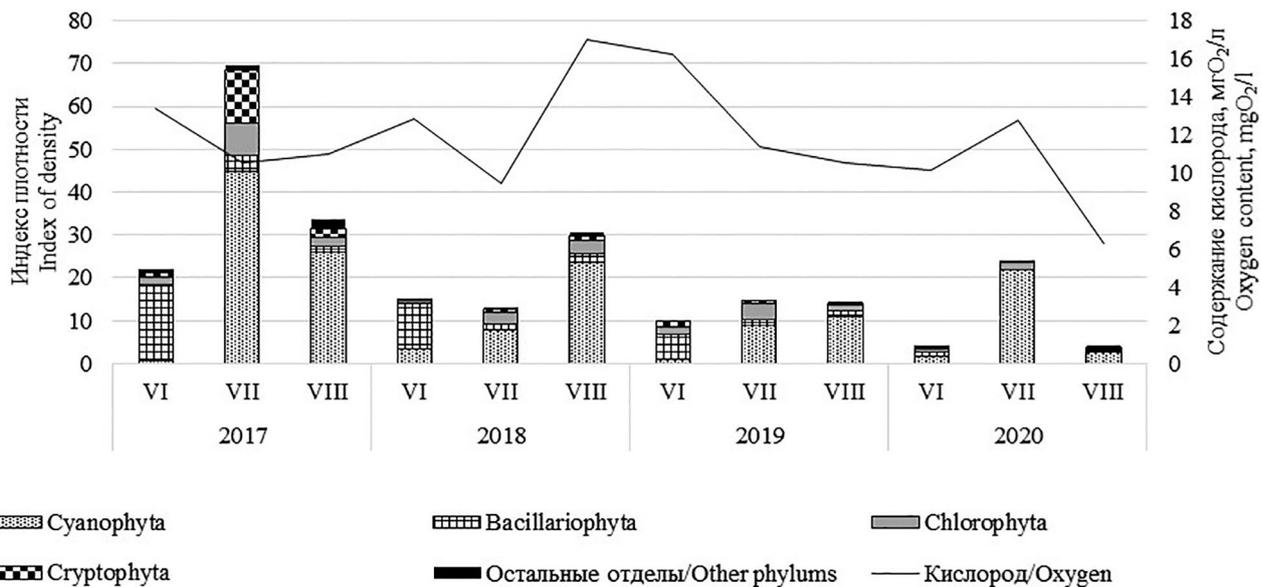
Статистическое сравнение гидробиологических, гидрохимических показателей с климатическими, временными факторами проведено с использованием теста Краскела – Уоллиса – непараметрического статистического критерия, оценивающего различия между группами переменных с ненормальным распределением. В данной работе представлены коэффициенты корреляции гидрохимических показателей воды (O<sub>2</sub>, ХПК, БПК<sub>5</sub>) с индексами плотности фитопланктона и его отделов. Для анализа взаимосвязи применили непараметрический метод – корреляционный коэффициент Спирмена, позволяющий определить тесноту (силу) и направление корреляционной связи между двумя признаками. Оценка тесноты связи проводилась по Чеддоку (до 0,29 – практически отсутствует; 0,30–0,49 – слабая; 0,50–0,69 – умеренная; 0,70–1,0 – сильная). Статистический анализ данных проведен с помощью программы Statistica 10 [Халафян, 2008].

Метеорологические показатели получены из открытых ГИС-порталов в сети Интернет по адресу: <http://www.pogodaiclimat.ru>. Использовали данные по количеству выпавших осадков и температуре воздуха за 7 дней до отбора проб, руководствуясь тем, что степень воздействия климатических факторов на фитопланктон регулируется, в частности, временным фактором (выбор времени произвольный).

## Результаты и обсуждение

В летний период среднемесячная температура воздуха в г. Казани варьировала в пределах +15,6...+22,3 °С, общее количество выпавших осадков – 26–104 мм. В 2017 г. количество выпавших осадков составило 48–95 мм (79–142 % от нормы), в 2018 г. – 26–59 мм (44–87 %), в 2019 г. – 41–104 мм (66–172 %), в 2020 г. – 69–97 мм (103–162 %); среднемесячная температура в 2017 г. – +15,6...+19,7 °С (отклонение от нормы составило –2,5...+2,0 °С), в 2018 г. – +16,9...+22,3 °С (–1,2...+2,2 °С), в 2019 г. – +16,0...+19,0 °С (–1,7...+0,9 °С), в 2020 г. – +16,8...+22,2 °С (–1,3...+2,0 °С). По данным, суммированным за семь дней до отбора проб, 2017–2020 гг. были схожи по температуре воздуха, 2018–2020 гг. – по количеству выпавших осадков; летний период 2017 г. достоверно отличался ( $p < 0,05$ ) по количеству выпавших осадков от аналогичного периода трех других лет.

В летнем фитопланктоне устьевой области реки Казанки встречен 171 вид и внутривидовой



Вклад отдельных групп фитопланктона в индекс плотности и содержание растворенного кислорода в устьевой области р. Казанки

Contribution of individual phytoplankton groups to the density index and dissolved oxygen content in the mouth area of the Kazanka River

таксон из семи систематических отделов: Cyanophyta (Cyanoprokaryota) – 32, Bacillariophyta – 40, Ochrophyta (класс Chrysophyceae) – 16, Cryptophyta – 5, Miozoa (класс Dinophyceae) – 3, Euglenozoa (Euglenophyta) – 7 и Chlorophyta – 68 видов. Наиболее разнообразен в таксономическом отношении отдел Chlorophyta с преобладанием видов порядка Sphaeropleales. Весной и в начале лета фитопланктон устьевого участка р. Казанки представлен в основном диатомовыми и золотистыми водорослями. В конце июня диатомовые сменяются фитопланктоном теплолюбивого летнего комплекса, в котором ведущая роль принадлежит синезеленым, достигающим высоких значений численности (до  $170,9 \pm 15,3$  млн кл./л на некоторых станциях). В целом по индексу плотности в июне преобладают Bacillariophyta, в июле–августе – Cyanophyta (рис.).

Среди цианопрокариот преимущественно развивались нитчатые формы – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (порядок Nostocales) и *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis & Komárek (порядок Oscillatoriales) (табл. 1). Эти виды широко распространены в континентальных водоемах и нередко регистрируются в качестве массовых во многих водоемах умеренной зоны [Горохова, 2012]. Встречались также *Limnothrix planctonica* (Woloszynska) Meffert [*Oscillatoria planctonica* Woloszynska]; *Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) Wacklin et al. [*Anabaena flos-aquae* Brébisson ex Bornet & Flahault]; *Pseudanabaena*

*limnetica* (Lemmermann) Komárek и *Merismopedia minima* G. Beck. Среди диатомовых водорослей в июне преимущественно развивались центричные формы диатомей (*Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp.).

Из зеленых водорослей преобладали широко распространенные виды р. *Monoraphidium* (*M. minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová, *M. contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, *M. griffithii* (Berkeley) Komárková-Legnerová); *Desmodesmus communis* Hegewald [*Scenedesmus quadricauda* Chodat]; *Scenedesmus acuminatus* (Lagerheim) Chodat; *Tetradesmus obliquus* (Turpin) Wynne [*Scenedesmus obliquus* (Turpin) Kützing]; р. *Coelastrum* (*C. microporum* Nägeli, *C. astroidum* De-Notaris), в обилии развивающиеся в летнем фитопланктоне водоемов с замедленным водообменом. Встречались жгутиковые формы – представители р. *Chlamydomonas*, *Pandorina morum* (Müller) Bory.

Золотистые водоросли были представлены преимущественно *Dinobryon divergens* Imhof и видами р. *Chromulina* (*Chr. parvula* Conrad, *Chr. tenera* Skuja, *Chr. rosanoffii* (Woronin) Blochmann); эвгленовые – видами р. *Euglena* и р. *Trachelomonas*.

Характерные для стратифицированных водоемов водоросли вносили значимую роль в суммарную биомассу фитопланктона: криптофитовые – виды р. *Cryptomonas* (*Cr. erosa* Ehrenberg, *Cr. ovata* Ehrenberg) и *Chroomonas acuta* Utermöhl; динофитовые – *Ceratium hirundinella* (Müller) Dujardin и *Peridinium* sp.

Таблица 1. Доминирующие и субдоминирующие по индексу плотности виды в фитопланктоне устьевой области р. Казанки

Table 1. Dominant and subdominant species in the density index in the phytoplankton of the mouth region of the Kazanka River

Год/Месяц Year/Month	VI	VII	VIII
2017	<b>Центричные формы диатомей</b> <b>Centric forms of diatoms</b> Виды р. <i>Nitzschia</i> Species g. <i>Nitzschia</i>	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> <i>Planktothrix agardhii</i> <i>Chroomonas acuta</i> Виды р. <i>Cryptomonas</i> Species g. <i>Cryptomonas</i> <i>Chlamydomonas</i> sp.	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> <b><i>Planktothrix agardhii</i></b>
2018	<b><i>Planktothrix agardhii</i></b> <b>Центричные формы диатомей</b> <b>Centric forms of diatoms</b>	<b><i>Planktothrix agardhii</i></b>	<b><i>Planktothrix agardhii</i></b> Центричные формы диатомей Centric forms of diatoms
2019	<b><i>Chroomonas acuta</i></b> <b>Центричные формы диатомей</b> <b>Centric forms of diatoms</b> <i>Limnothrix planctonica</i>	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> Центричные формы диатомей Centric forms of diatoms <i>Desmodesmus communis</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Chlamydomonas</i> sp.	<b><i>Planktothrix agardhii</i></b> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>
2020	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> <b><i>Planktothrix agardhii</i></b> <b>Центричные формы диатомей</b> <b>Centric forms of diatoms</b> <i>Dinobryon divergens</i>	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> <i>Planktothrix agardhii</i>	<b><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></b> <b><i>Planktothrix agardhii</i></b> Виды р. <i>Cryptomonas</i> Species g. <i>Cryptomonas</i>

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены доминирующие виды.

Note. The dominant species are shown in bold.

Таблица 2. Средние значения гидрохимических показателей и индекса плотности фитопланктона в устьевой области р. Казанки в летний период

Table 2. Average values of hydrochemical parameters and phytoplankton density index in the mouth area of the Kazanka River in summer

Параметры/Год Parameters/Year	2017	2018	2019	2020
O <sub>2</sub> , мгO <sub>2</sub> /л O <sub>2</sub> , mgO <sub>2</sub> /l	11,63 ± 0,90	13,07 ± 2,20	12,90 ± 1,97	9,67 ± 1,89
ХПК, мгO <sub>2</sub> /л COD, mgO <sub>2</sub> /l	26,47 ± 4,91	17,47 ± 2,26	19,50 ± 2,71	14,43 ± 2,64
БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> /л BOD <sub>5</sub> , mgO <sub>2</sub> /l	6,37 ± 0,30	5,33 ± 1,17	3,37 ± 0,26	3,43 ± 0,92
Ip фитопланктон в целом Ip phytoplankton general	38,50 ± 13,16	18,83 ± 5,38	12,10 ± 1,54	11,60 ± 7,81
Ip Cyanophyta	23,70 ± 12,76	11,59 ± 6,07	6,80 ± 3,03	8,79 ± 6,17
Ip Bacillariophyta	7,72 ± 5,15	4,77 ± 2,92	2,92 ± 1,56	0,39 ± 0,20
Ip Chlorophyta	3,77 ± 1,87	2,07 ± 0,74	2,27 ± 0,77	0,93 ± 0,35
Ip Ochrophyta	0,70 ± 0,09	0,19 ± 0,12	0,12 ± 0,03	0,22 ± 0,11
Ip Cryptophyta	5,15 ± 3,62	0,63 ± 0,29	0,80 ± 0,27	0,36 ± 0,05
Ip Miozoa	0,60 ± 0,36	0,13 ± 0,09	0,06 ± 0,03	0,09 ± 0,04
Ip Euglenozoa	0,12 ± 0,08	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,04 ± 0,01

Примечание. Здесь и в табл. 3: O<sub>2</sub> – кислород, ХПК – химическое потребление кислорода, БПК<sub>5</sub> – биохимическое потребление кислорода, Ip – индекс плотности.

Note. Here and in Table 3: O<sub>2</sub> – oxygen, COD – chemical oxygen demand, BOD<sub>5</sub> – biochemical oxygen demand, Ip – index of density.

Содержание растворенного кислорода в поверхностном слое устьевой области реки за весь период наблюдений не опускалось ниже нормативных значений (ПДК<sub>рх</sub> 6,0 мгO<sub>2</sub>/л) и варьировало в пределах 6,2–17,0 мгO<sub>2</sub>/л. Отношение БПК<sub>5</sub>/ХПК, характеризующее долю до-

ступных биохимическому окислению органических соединений [Рижинашвили, 2008], составило 13–36 %. Превышение ПДК легкоокисляемого органического вещества по показателю БПК<sub>5</sub> (ПДК<sub>рх</sub> 2 мгO<sub>2</sub>/л) составило 1,4–3,7 (табл. 2).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Спирмена гидрохимических показателей с индексами плотности фитопланктона ( $p < 0,05$ )

Table 3. Spearman correlation coefficients of hydrochemical parameters with phytoplankton density indices ( $p < 0.05$ )

Ip	2017			2018			2019			2020		
	O <sub>2</sub>	ХПК COD	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	O <sub>2</sub>	ХПК COD	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	O <sub>2</sub>	ХПК COD	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>	O <sub>2</sub>	ХПК COD	БПК <sub>5</sub> BOD <sub>5</sub>
Фитопланктон в целом Phytoplankton in general	-	-	-	<b>0,68</b>	-	-	-	-	-	<b>0,64</b>	<b>0,57</b>	-
Cyanophyta	-	<b>0,78</b>	-	-	-	-0,43	<b>-0,76</b>	-	-	0,41	<b>0,60</b>	-
Bacillariophyta	<b>0,65</b>	-	-	-	-	<b>0,74</b>	0,47	-	-	-	-	-
Chlorophyta	-	-	-	-	<b>-0,57</b>	<b>-0,58</b>	-	-	-	<b>0,69</b>	-	<b>0,50</b>
Cryptophyta	-	-	-	-	-	-	0,45	-	-	-	-	-
Miozoa	-	<b>0,69</b>	-	-0,43	-	-	-	-	<b>0,53</b>	-	-	-
Ochrophyta	-	-	-	-	<b>-0,60</b>	-0,41	-	-	-	-	-0,46	-
Euglenozoa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены умеренная и сильная теснота связи.

Note. Moderate and severe tightness of the connection are shown in bold.

Одним из процессов, обогащающих воду растворенным кислородом, является его выделение водной растительностью, в частности фитопланктоном, в процессе фотосинтеза. В табл. 3 представлены коэффициенты корреляции между индексами плотности фитопланктона и гидрохимическими показателями.

Для 2017 г. установлены корреляции содержания O<sub>2</sub> с диатомовыми (коэффициент Спирмена – 0,65), ХПК – с синезелеными (0,78) и динофитовыми (0,69) водорослями.

Для 2018 г. установлены корреляции содержания O<sub>2</sub> с общим фитопланктоном (0,68), ХПК – с золотистыми (-0,60) и зелеными (-0,57), БПК<sub>5</sub> – с диатомовыми (0,74) и зелеными (-0,58) водорослями.

В 2019 г. O<sub>2</sub> коррелировал с синезелеными (-0,76), в 2020 г. – с общим фитопланктоном (0,64) и зелеными (0,69) водорослями.

Отмечена тенденция положительной связи между содержанием растворенного кислорода и индексом плотности диатомовых, зеленых водорослей; ХПК и Ip синезеленых и динофитовых; БПК<sub>5</sub> и Ip диатомовых, динофитовых водорослей.

Отрицательная корреляция отмечена между O<sub>2</sub> и индексом плотности синезеленых; ХПК и Ip золотистых, зеленых водорослей.

Общий индекс плотности фитопланктона положительно коррелировал с содержанием растворенного кислорода (0,64–0,68) и ХПК (0,57) (табл. 3).

По результатам корреляции Спирмена ( $p < 0,05$ ) исследуемых параметров за четыре года установлено, что содержание растворен-

ного кислорода в устьевом участке реки коррелировало с индексом плотности зеленых (0,38), диатомовых (0,47) и криптофитовых (0,25) водорослей; ХПК – с содержанием синезеленых (0,22) и золотистых (-0,28); БПК<sub>5</sub> – диатомовых (0,46) водорослей. У эвгленовых и динофитовых водорослей связи с показателями кислородного режима воды не выявлены. В целом индекс плотности фитопланктонного сообщества коррелировал с O<sub>2</sub> (0,50), ХПК (0,42) и БПК<sub>5</sub> (0,44).

Анализ позволил выявить умеренную и/или сильную тесноту связи между некоторыми показателями, межгодовую изменчивость в значениях коэффициентов корреляции. Степень тесноты связи индекса плотности фитопланктона с гидрохимическими показателями, предположительно, регулируется интенсивностью развития, количественными характеристиками фитопланктонного сообщества в целом и отдельных его групп, что, в свою очередь, определяется целым рядом факторов, в частности, гидрометеорологическими (количеством выпавших осадков, температурой воздуха). Межгодовая изменчивость в значениях коэффициентов корреляции (наличие и/или отсутствие), вероятно, определяется сложной опосредованностью влияния внешних факторов на водоросли, их межгодовой вариабельностью.

По результатам теста Краскела – Уоллиса ( $p < 0,05$ ) метеорологические (температура воздуха и количество выпавших осадков) и временные (год и месяц наблюдений) факторы влияют на гидробиологические (индекс плотности фитопланктона) и гидрохимические (со-

держание растворенного  $O_2$ , ХПК и БПК) показатели. Наименьшее влияние (по значению  $H$ ) на исследуемые параметры оказывает месяц ( $H$  варьировало в пределах 7,8–71,6). Вероятно, это связано с тем, что в статистическом анализе использовали месяцы только летнего сезона. На индекс плотности фитопланктонного сообщества влияют количество выпавших осадков (со значением  $H$ , равным 44,7), температура воздуха (39,4) и год (33,6); на содержание  $O_2$  – те же факторы с величинами 371,3, 370,6 и 81,9; на ХПК – 303,2, 230,6 и 109,3; на БПК<sub>5</sub> – 338,9, 323,8 и 168,7 соответственно.

По данным Г. И. Прониной [2016], на динамику содержания растворенного кислорода в водоемах влияет видовой состав альгофлоры. Согласно рассчитанным коэффициентам корреляции, обогащение воды устьевой области реки кислородом связано преимущественно с развитием диатомовых (с преобладанием центричных форм диатомей и видов р. *Nitzschia*), зеленых (представителей пор. Sphaeropleales и *Chlamydomonas* sp.) и криптофитовых (видов р. *Cryptomonas*) водорослей; увеличение органического вещества – с развитием динофитовых (*C. hirundinella* и *Peridinium* sp.), синезеленых (*Aph. flos-aquae* и *P. agardhii*) и диатомовых.

Согласно литературным источникам, зеленые и синезеленые водоросли [Peschek, 1999], большинство видов диатомовых водорослей [Lavaud, 2007; Prihoda et al., 2012], золотистые, криптофитовые и динофитовые [West, 1982] являются фотосинтезирующими организмами и имеют важное значение в формировании первичной продуктивности гидроэкосистем. Также они являются источником появления легкоокисляемых органических веществ в воде [Smith, Piedrahita, 1988; Даценко, Пуклаков, 2020]. Соответственно, баланс растворенного кислорода учитывает, в частности, продукционно-деструкционные процессы, связанные с развитием фитопланктона (фотосинтез, дыхание, разложение органического вещества). В период интенсивной вегетации фитопланктона теоретически можно ожидать активизацию в водотоке процессов как продукции (увеличение содержания  $O_2$ ), так и деструкции (увеличение потребления  $O_2$  на окисление легкоокисляемого органического вещества). Какой из указанных процессов будет превалировать в гидроэкосистеме, зависит от многих факторов: метеорологических [Матвеев и др., 2020], антропогенных [Локтионова, Яковлева, 2011], физико-химических [Пронина и др., 2016], биологических [Салманов, 1999; Boyd, 2017] и др. Роль и удельный вес каждого из перечис-

ленных факторов являются индивидуальными для каждого отдельного водотока.

Являясь фотосинтезирующими организмами [Peschek, 1999], синезеленые водоросли активно развиваются в летнем фитопланктоне реки (средняя численность за летний период 2017–2020 гг.  $62,7 \pm 16,0$  млн кл./л), однако положительной корреляции (умеренной и/или сильной) их содержания с содержанием в воде кислорода не выявлено. Возможно, это обусловлено чрезмерным развитием Cyanophyta (р составил  $6,80 \pm 3,03 - 23,70 \pm 12,76$ ) и значительным увеличением органического вещества (коэффициент Спирмена 0,78,  $p < 0,05$ ), приводящими к снижению содержания растворенного кислорода ( $-0,76$ ) в условиях слабопроточного участка.

Результаты наших исследований подтверждаются данными Е. С. Кривиной [2018] – в малых водоемах урбанизированных территорий не выявлено корреляционной связи между количественным развитием фитопланктона и содержанием растворенного кислорода, что связано с преобладанием в сообществе Cyanophyta; а также данными С. В. Тучина и Т. А. Бренника [2020] – в водах Шершневского водохранилища в период активного развития синезеленых водорослей отмечалось снижение содержания растворенного кислорода.

Можно также отметить, что в Азовском море высокое содержание кислорода совпадает с интенсивным развитием синезеленых водорослей, а относительно низкое – с развитием диатомовых [Нестерова и др., 1988]; в озере Байкал динофитовые положительно коррелируют с  $O_2$  [Afonina et al., 2020]. Анализ литературных данных свидетельствует о наличии корреляционной связи фитопланктона с содержанием растворенного кислорода в воде. Однако какая группа водорослей будет благоприятно влиять на насыщение воды кислородом, в определенной степени зависит от физико-географических и гидрологических особенностей водного объекта, особенностей таксономического разнообразия и количественного развития фитопланктона.

Таким образом, в фитопланктоне устьевой области р. Казанки основными отделами, положительно коррелирующими с растворенным кислородом в воде, являются Bacillariophyta (0,56) с преобладанием по индексу плотности центричных форм диатомей и видов р. *Nitzschia*, Chlorophyta (0,69) – с преобладанием видов порядка Sphaeropleales и *Chlamydomonas* sp. Отделами, положительно коррелирующими с формированием органического вещества, являются Cyanophyta (0,69) с преобладани-

ем *Aph. flos-aquae* и *P. agardhii*, Miozoa (0,69) с преобладанием *C. hirundinella* и *Peridinium* sp., Bacillariophyta (0,74).

Степень тесноты связи фитопланктона с кислородным режимом устьевой области реки, межгодовая изменчивость в значениях коэффициентов (наличие и/или отсутствие по годам) определяется сложной опосредованностью влияния внешних факторов (в частности, метеорологических) на водоросли, их межгодовой вариабельностью, а также интенсивностью развития, количественными характеристиками фитопланктонного сообщества в целом и отдельных его групп.

Результаты проведенного корреляционно-го анализа и литературные данные [Кравчук, 2004; Арбузова, Левенец, 2010; Александров, 2011] подтверждают, что активный рост синезеленых водорослей в водотоках умеренной зоны может приводить к превышению ПДК<sub>рх</sub> органических веществ, уменьшению содержания растворенного кислорода, формированию дефицита O<sub>2</sub> в воде и, как следствие, к заморам гидробионтов и замедлению процессов самоочищения. «Цветение» воды является проблемой экосистемного уровня, в основе которой лежит комплекс причин, характерных для данного водотока, и ее решение требует системного подхода.

## Заключение

В летнем фитопланктоне устьевой области реки Казанки в 2017–2020 гг. по индексу плотности преобладали синезеленые (в июле–августе) и диатомовые (в июне) водоросли. Среди первых развивались преимущественно нитчатые формы – *Aph. flos-aquae* и *P. agardhii*, среди диатомовых – центричные формы диатомей (*S. huntzshii*, *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp.).

Корреляционный анализ позволил выявить умеренную и/или сильную тесноту связи таксономического состава и обилия фитопланктонного сообщества с показателями кислородного режима в поверхностном слое реки. В определенные годы наблюдения содержание растворенного кислорода положительно коррелирует ( $p < 0,05$ ) с индексом плотности зеленых (0,69) и диатомовых (0,56) водорослей, ХПК – с I<sub>p</sub> синезеленых (0,69) и динофитовых (0,69), БПК<sub>5</sub> – с I<sub>p</sub> диатомовых (0,74) и динофитовых (0,53). Отрицательная корреляция содержания O<sub>2</sub> отмечена с I<sub>p</sub> синезеленых водорослей (–0,76); ХПК – с I<sub>p</sub> золотистых (–0,60) и зеленых (–0,57). Общий индекс плотности фитопланктона положительно коррелирует с содержанием растворенного кислорода (0,66). Межгодо-

вая изменчивость в значениях коэффициентов корреляции определяется сложной опосредованностью влияния внешних факторов на фитопланктон, их межгодовой вариабельностью, интенсивностью развития, количественными характеристиками фитопланктонного сообщества и его отделов, видового разнообразия альгофлоры.

За четыре года исследования индекс плотности фитопланктонного сообщества коррелирует ( $p < 0,05$ ) с показателями кислородного режима устьевой области р. Казанки, в частности, с содержанием растворенного кислорода – индексом плотности зеленых, диатомовых и криптофитовых водорослей; с ХПК – синезеленых и золотистых; с БПК<sub>5</sub> – диатомовых.

По результатам теста Краскела – Уоллиса ( $p < 0,05$ ), метеорологические (температура воздуха, количество выпавших осадков) и временные (год, месяц наблюдений) факторы влияют на индекс плотности фитопланктона, содержание растворенного кислорода, ХПК и БПК<sub>5</sub> в устьевой области р. Казанки.

*Авторы выражают благодарность Д. В. Иванову за помощь в проведении химико-аналитических измерений.*

## Литература

Абрамова К. И., Токинова Р. П. Межгодовая динамика летнего фитопланктона в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2020. № 3. С. 89–94.

Александров С. В. Современное экологическое состояние и загрязнение Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Вода: химия и экология. 2011. № 11. С. 3–9.

Арбузова Л. Л., Левенец И. Р. Водоросли. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2010. 177 с.

Валиев В. С., Иванов Д. В., Шагидуллин Р. Р., Шамаев Д. Е., Мустафина Л. К., Шурмина Н. В., Абдуллина Ф. М., Богданова О. А., Зиганшин И. И. Оценка вклада загрязняющих веществ в формирование класса загрязненности поверхностных вод // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 57–64.

Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища / Ред. А. В. Крылов. Ярославль: Филигрань, 2015. 466 с.

Горохова О. Г. Фитопланктон озерной системы Кабан в 2011 году // Георесурсы. 2012. № 7(49). С. 24–28.

Даценко Ю. С., Пуклаков В. В. Прогноз развития фитопланктона в проектируемом низконапорном водохранилище на р. Дон // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 1. С. 57–67.

Девяткин В. Г., Метелева Н. Ю. О роли фитопланктона в формировании кислородного режи-

ма водоема в связи с климатическими вариациями // *Вода: химия и экология*. 2012. № 12. С. 68–74.

Денисов Н. Е. Некоторые вопросы методики вододозных исследований донных сообществ // *Океанология*. 1972. Т. 12, № 5. С. 884–891.

Книпович Н. М. Гидрологические исследования в Азовском море / Ред. Н. М. Книпович. М.: Шестой Октябрь, 1932. 496 с.

Количественные методы экологии и гидробиологии (Сб. науч. трудов, посв. памяти А. И. Баканова) / Ред. Г. С. Розенберг. Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. 404 с.

Кравчук Е. С. Эколого-физиологические аспекты «цветения» воды синезелеными водорослями в двух разнотипных водохранилищах (район Красноярска): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2004. 24 с.

Крахмальный А. Ф. Динофитовые водоросли Украины (иллюстрированный определитель). Киев: Альтерпресс, 2011. 444 с.

Кривина Е. С. Трансформация фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий в условиях изменения антропогенной нагрузки: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2018. 186 с.

Куликовский М. С., Глуценко А. М., Генкал С. И., Кузнецова И. В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.

Локтионова Е. Г., Яковлева Л. В. Определение содержания растворенного кислорода и биологического потребления кислорода для оценки качества речной воды // *Экология и промышленность России*. 2011. № 10. С. 34–35.

Матвеев В. И., Курносова (Важова) А. С., Катайкина О. И. Результаты гидрохимического мониторинга озера Ханка в 2016–2018 годах // *Тихоокеанская география*. 2020. № 3. С. 47–55.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / Отв. ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.

Мозжерин В. И., Ермолаев О. П., Мозжерин В. В. Река Казанка и ее бассейн. Казань: Orange key, 2012. 280 с.

Нестерова Д. А., Гаркавая Г. П., Богатова Ю. И. Фитопланктон и гидрохимическая характеристика Азовского моря в летний период // *Экология моря*. 1988. Т. 29. С. 12–18.

Остроумов С. А. Восстановление нарушений на экологическом уровне: самоочищение воды и экологическая репарация // *Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2003. № 9. С. 104–111.

Пронина Г. И., Корягина Н. Ю., Терентьев П. В. Воздействие фитопланктона на кислородный режим рыбохозяйственного водоема в условиях низких температур // *Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйство*. 2016. № 1. С. 52–61.

Рижинашвили А. Л. Показатели содержания органических веществ и компоненты карбонатной системы в природных водах в условиях интенсивного антропогенного воздействия // *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2008. Сер. 4, вып. 4. С. 90–101.

Салманов М. А. Экология и биологическая продуктивность Каспийского моря. Баку: Исмаил, 1999. 398 с.

Тучин С. В., Бренник Т. А. Гидрохимические показатели качества воды Шершневого водохранилища // *Идеи молодых ученых – агропромышленному комплексу: естественнонаучные и математические дисциплины: Матер. студ. науч. конф. Института ветеринарной медицины*. Челябинск, 2020. С. 224–228.

Халафян А. А. *Statistica 6*. Статистический анализ данных. М.: Бином, 2008. 512 с.

Шатрова О. В., Еремина Т. Р., Ланге Е. К. Анализ изменчивости параметров эвтрофирования в Финском заливе по данным натурных наблюдений // *Ученые записки РГГМУ*. 2016. № 44. С. 129–140.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Afonina E. Yu., Tashlykova N. A., Kuklin A. P., Tsybekmitova G. Ts. Environmental features and dynamics of plankton communities in a mountain glacial moraine lake (Baikal lake basin, Russia) // *Nature Conserv. Res.* 2020. Vol. 5, no. 3. P. 23–36.

Akbaeva L. H., Mamytova N. S., Tulegenov E. A. Seasonal dynamics of self-cleaning ability of the Akmo-la region // *Actual questions and innovations in science: Int. sci. conf. (Craiova, Romania. May. 2019)*. Craiova, 2019. P. 82–86.

Boyd C. E. Phytoplankton and its impact on water quality // *Glob. Aquacult. Adv.* 2017. P. 1–5.

Dekun H., Jiang H., Changwei L., Ying Sun, Fujin Zh., Khureldavaa O. Effects of environmental factors on nutrients release at sediment-water interface and assessment of trophic status for a typical shallow lake, North-east China // *Hindawi Publ. Corporation the scientific world journal*. 2013. No. 3. P. 1–16. doi: 10.1155/2013/716342

Falkowski P. G. The role of phytoplankton photosynthesis in global biogeochemical cycles // *Photosynthesis Res.* 1994. Vol. 39. P. 235–258.

Gilmore K. L., Doubleday Z. A., Gillanders B. M. Prolonged exposure to low oxygen improves hypoxia tolerance in a freshwater fish // *Conserv. Physiol.* 2019. Vol. 7. P. 1–10.

Golam K. Global fish kills: causes and consequences // *ReserchGate*. 2014. Vol. 26. P. 1–5.

Hupfer M., Lewandowski J. Oxygen controls the phosphorus release from lake sediments – a long-lasting paradigm in Limnology // *Int. Rev. Hydrobiol.* 2008. Vol. 93, no. 4–5. P. 415–432. doi: 10.1002/iroh.200711054

Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 16.01.2021).

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, etc.: Gustav Fischer, 1998. Bd. 19(1). 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales // *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, 2005. Bd. 19(2). 759 p.

Lange-Bertalot H. (ed.). *Diatomeenim Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Koeltz Scientific Books, 2013. 908 p.

Lavaud J. Fast regulation of photosynthesis in Diatoms: mechanisms, evolution and ecophysiology // Functional plant science and biotechnology. 2007. No. 1. P. 267–287.

Preisig H. R. A modern concept of chrysophyte classification // Chrysophyte algae: Ecology, Phylogeny and Development. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. P. 47–74.

Smith D. W., Piedrahita R. H. The relation between phytoplankton and dissolved oxygen in fish ponds // Aquaculture. 1988. Vol. 68, no. 3. P. 249–265.

Peschek G. A. Photosynthesis and respiration of Cyanobacteria // The Phototrophic Prokaryotes. 1999. P. 201–209. doi: 10.1007/978-1-4615-4827-0\_24

Popovsky J., Pfister L. A. Dimophyceae (Dinoflagellida) // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1990. Bd. 6. 272 p.

## References

Abramova K. I., Tokinova R. P. Mezsgodovaya dinamika letnego fitoplanktona v ust'evoi oblasti reki Kazanki (g. Kazan') [Interannual dynamics of summer phytoplankton in the mouth region of the Kazanka River (Kazan)]. *Samarskaya Luka: probl. regional'noi i global'noi ekol.* [Samara Luka: Probl. of Regional and Global Ecol.]. 2020. No. 3. P. 89–94.

Aleksandrov S. V. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie i zagryaznenie Kurshskogo i Vislinskogo zalivov Baltijskogo morya [Modern ecological condition and contamination of the Curonian and Vistula lagoons of the Baltic Sea]. *Voda: khimiya i ekol.* [Water: Chemistry and Ecol.]. 2011. No. 11. P. 3–9.

Arbuzova L. L., Levenets I. R. Vodorosli [Algae]. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2010. 177 p.

Datsenko Yu. S., Puklakov V. V. Prognoz razvitiya fitoplanktona v proektiruемом nizkonapornom vodokhranilishche na r. Don [Forecast of phytoplankton development in the projected low-pressure reservoir on the Don River]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2020. Vol. 47, no. 1. P. 57–67.

Devyatkin V. G., Meteleva N. Yu. O roli fitoplanktona v formirovani kislородnogo rezhima vodoema v svyazi s klimaticheskimi variatsiyami [On the role of phytoplankton in the formation of the oxygen regime of the reservoir in connection with climatic variations]. *Voda: khimiya i ekol.* [Water: Chemistry and Ecol.]. 2012. No. 12. P. 68–74.

Denisov N. E. Nekotorye voprosy metodiki vodolaznykh issledovani donnykh soobshchestv [Some questions of the methodology of diving studies of bottom communities]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 1972. Vol. 12, no. 5. P. 884–891.

Gidroekologiya ust'evykh oblastei pritokov ravninno-g vodokhranilishcha [Hydroecology of estuarine areas of tributaries of a lowland reservoir]. Ed. A. V. Krylov. Yaroslavl: Filigran, 2015. 466 p.

Gorokhova O. G. Fitoplankton ozernoi sistemy Kaban v 2011 godu [Phytoplankton of the Kaban lake system in 2011]. *Georesursy* [Georesources]. 2012. Vol. 7, no. 49. P. 24–28.

Khalafyan A. A. Statistika 6. Statisticheskii analiz dannykh [Statistika 6. Statistical analysis of data]. Moscow: Binom, 2008. 512 p.

Prihoda J., Tanaka A., Wilson B. M., Allen J., Tiri-chine L., Bowler C. Chloroplast-mitochondria cross-talk in diatoms // *J. Exp. Bot.* 2012. Vol. 63, iss. 4. P. 1543–1557.

Rocha R. A., Thomas S. M., Carvalho P., Gomes L. C. Modeling chlorophyll-a and dissolved oxygen concentration in tropical floodplain lakes (Parana River, Brasil) // *Braz. J. Biol.* 2009. Vol. 69, no. 2. P. 491–500.

Ruggiero M. A., Dennis P., Gordon D. P., Orrell T. M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R., Cavalier-Smith T., Giry M. D., Kirk P. M. A higher level classification of all living organisms // *PloS ONE*. 2015. Vol. 10, no. 4. P. 1–60.

West J. A. Cryptophyta // *Beaches and Coastal Geology. Encyclopedia of Earth Series*. Springer, 1982. doi: 10.1007/0-387-30843-1\_138

Поступила в редакцию 18.02.2021

Knipovich N. M. Gidrologicheskie issledovaniya v Azovskom more [Hydrological studies in the Azov Sea]. Moscow: The Sixth October, 1932. 496 p.

Kolichestvennye metody ekologii i gidrobiologii (Sb. nauch. trudov, posv. pamyati A. I. Bakanova) [Quantitative methods of ecology and hydrobiology (Proceed. dedicated to the memory of A. I. Bakanov)]. Ed. G. S. Rosenberg. Tolyatti: SAMNTS RAS, 2005. 404 p.

Krahmal'nyi A. F. Dinofitovy vodorosli Ukrainy (il-lyustrirovannyi opredelitel') [Dinophyte algae of Ukraine (an illustrated guide)]. Kiev: Alterpress, 2011. 444 p.

Kravchuk E. S. Ekologo-fiziologicheskie aspekty "tsveteniya" vody sinezelenymi vodoroslyami v dvukh raznotipnykh vodokhranilishchakh (raion Krasnoyarska): [Ecological and physiological aspects of water 'blooming' due to blue-green algae in two different types of reservoirs (Krasnoyarsk Region)]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Borok, 2004. 24 p.

Krivina E. S. Transformatsiya fitoplanktona malyykh vodoemov urbanizirovannykh territorii v usloviyakh izmeneniya antropogennoi nagruzki [Phytoplankton transformation in small reservoirs of urbanized territories under conditions of changing anthropogenic load]: Summary of Phd (Cand. of Biol.) thesis. Tolyatti, 2018. 186 p.

Kulikovskii M. S., Glushchenko A. M., Genkal S. I., Kuznetsova I. V. Opredelitel' diatomovykh vodoroslei Rossii [An identification guide to diatoms of Russia]. Yaroslavl: Filigree, 2016. 804 p.

Loktionova E. G., Yakovleva L. V. Opredelenie soderzhaniya rastvorennogo kisloroda i biologicheskogo potrebleniya kisloroda dlya otsenki kachestva rechnoi vody [Determination of dissolved oxygen content and biological oxygen consumption for river water quality assessment]. *Ekol. i promyshlennost' Rossii* [Ecol. and Industry of Russia]. 2011. No. 10. P. 34–35.

Matveev V. I., Kurnosova (Vazhova) A. S., Katakina O. I. Rezul'taty gidrokhimicheskogo monitoringa ozera Khanka v 2016–2018 godakh [Results of hydrochemical monitoring of Lake Khanka in 2016–2018]. *Tikhookeanskaya geografiya* [Pacific Geography]. 2020. No. 3. P. 47–55.

*Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov* [A technique for studying biogeocenoses of inland water bodies]. Ed. F. D. Mordukhai-Boltovskoi. Moscow: Nauka, 1975. 240 p.

Mozzherin V. I., Ermolaev O. P., Mozzherin V. V. Reka Kazanka i ee bassein [Kazanka River and its basin]. Kazan: Orange key, 2012. 280 p.

Nesterova D. A., Garkavaya G. P., Bogatova Yu. I. Fitoplankton i gidrokhimicheskaya kharakteristika Azovskogo morya v letnii period [Phytoplankton and hydrochemical characteristics of the Azov Sea in summer]. *Ekol. morya* [Ecol. of the Sea]. 1988. Vol. 29. P. 12–18.

Ostroumov S. A. Vosstanovlenie narushenii na ekologicheskom urovne: samoochishchenie vody i ekologicheskaya reparatsiya [Restoration of violations at the ecological level: self-purification of water and ecological repair]. *Vestnik RUDN. Ser. Ekol. i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bull. RUDN. Ser. Ecol. and Life Safety]. 2003. No. 9. P. 104–111.

Pronina G. I., Koryagina N. Yu., Terentyev P. V. Vozdeistvie fitoplanktona na kislorodnyi rezhim rybokhozyaistvennogo vodoema v usloviyakh nizkikh temperatur [The effect of phytoplankton on the oxygen regime of a fishery reservoir under low temperature conditions]. *Vestnik AGTU. Ser. Rybnoe khozyaistvo* [Vestnik Astrakhan St. Tech. Univ. Ser. Fisheries]. 2016. No. 1. P. 52–61.

Rizhinashvili A. L. Pokazateli sodержaniya organicheskikh veshchestv i komponenty karbonatnoi sistemy v prirodnykh vodakh v usloviyakh intensivnogo antropogennogo vozdeistviya [Indicators of the content of organic substances and components of the carbonate system in natural waters under conditions of intensive anthropogenic impact]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik. St. Petersburg Univ.]. 2008. Vol. 4, no. 4. P. 90–101.

Salmanov M. A. Ekologiya i biologicheskaya produktivnost' Kaspiiskogo morya [Ecology and biological productivity of the Caspian Sea]. Baku: Ismail, 1999. 398 p.

Shatrova O. V., Eremina T. R., Lange E. K. Analiz izmenchivosti parametrov evtrofirovaniya v Finskom zalive po dannym naturnykh nablyudenii [Analysis of the variability of eutrophication parameters in the Gulf of Finland according to field observations]. *Uchenye zapiski RGGMU* [Proceed. Russ. St. Hydrometeorol. Univ.]. 2016. No. 44. P. 129–140.

Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T. D. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Tolyatti: IEVB Russian Academy of Sciences, 2003. 463 p.

Tuchin S. V., Brennik T. A. Gidrokhimicheskie pokazateli kachestva vody Shershnevskogo vodokhranilishcha [Hydrochemical indicators of water quality of the Shershnevsky reservoir]. *Idei molodykh uchenykh – agropromyshlennomu kompleksu: estestvennonauchnye i matematicheskie distsipliny: Mater. stud. nauch. konf. Instituta veterinarnoi meditsiny* [Ideas of young scientists for agro-industrial complex: nat. sci. math. disciplines: Proceed. student sci. conf. Inst. Vet. Medicine]. Chelyabinsk, 2020. P. 224–228.

Valiev V. S., Ivanov D. V., Shagidullin R. R., Shamaev D. E., Mustafina L. K., Shurmina N. V., Abdullina F. M., Bogdanova O. A., Ziganshin I. I. Otsenka vkladа zagryaznyayushchikh veshchestv v formirovanie klas-

sa zagryaznennosti poverkhnostnykh vod [Estimation of pollutants contribution to the formation of the surface waters pollution class]. *Ross. zhurn. priklad. ekol.* [Russ. J. Appl. Ecol.]. 2018. No. 3. P. 57–64.

Afonina E. Yu., Tashlykova N. A., Kuklin A. P., Tsybekmitova G. Ts. Environmental features and dynamics of plankton communities in a mountain glacial moraine lake (Baikal lake basin, Russia). *Nature Conserv. Res.* 2020. Vol. 5, no. 3. P. 23–36.

Akbaeva L. H., Mamytova N. S., Tulegenov E. A. Seasonal dynamics of self-cleaning ability of the Akmla region. *Actual questions and innovations in science: Int. sci. conf. (Craiova, Romania. May. 2019)*. Craiova, 2019. P. 82–86.

Boyd C. E. Phytoplankton and its impact on water quality. *Glob. Aquacult. Adv.* 2017. P. 1–5.

Dekun H., Jiang H., Changwei L., Ying Sun, Fujin Zh., Khureldavaa O. Effects of environmental factors on nutrients release at sediment-water interface and assessment of trophic status for a typical shallow lake, North-east China. *Hindawi Publ. Corporation the scientific world journal*. 2013. No. 3. doi: 10.1155/2013/716342. P. 1–16.

Falkowski P. G. The role of phytoplankton photosynthesis in global biogeochemical cycles. *Photosynthesis Res.* 1994. Vol. 39. P. 235–258.

Gilmore K. L., Doubleday Z. A., Gillanders B. M. Prolonged exposure to low oxygen improves hypoxia tolerance in a freshwater fish. *Conserv. Physiol.* 2019. Vol. 7. P. 1–10.

Golam K. Global fish kills: causes and consequences. *ReserchGate*. 2014. Vol. 26. P. 1–5.

Hupfer M., Lewandowski J. Oxygen controls the phosphorus release from lake sediments – a long-lasting paradigm in Limnology. *Int. Rev. Hydrobiol.* 2008. Vol. 93, no. 4–5. P. 415–432. doi: 10.1002/iroh.200711054

Guiry M. D., Guiry G. M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2020. URL: <http://www.algaebase.org> (accessed: 16.01.2021).

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 1. Teil: Chroococcales. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, etc.: Gustav Fischer, 1998. Bd. 19(1). 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota 2. Teil: Oscillatoriales. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. 2005. Bd. 19(2). 759 p.

Lange-Bertalot H. (ed.). Diatomeenim Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. Koeltz Scientific Books, 2013. 908 p.

Lavaud J. Fast regulation of photosynthesis in Diatoms: mechanisms, evolution and ecophysiology. *Functional plant science and biotechnology*. 2007. No. 1. P. 267–287.

Preisig H. R. A modern concept of chrysophyte classification. *Chrysophyte algae: Ecology, Phylogeny and Development*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. P. 47–74.

Smith D. W., Piedrahita R. H. The relation between phytoplankton and dissolved oxygen in fish ponds. *Aquaculture*. 1988. Vol. 68, no. 3. P. 249–265.

Peschek G. A. Photosynthesis and respiration of Cyanobacteria. *The Phototrophic Prokaryotes*. 1999. P. 201–209. doi: 10.1007/978-1-4615-4827-0\_24.

Popovsky J., Pfister L. A. Dimophyceae (Dinoflagellida). *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena, 1990. Bd. 6. 272 p.

Prihoda J., Tanaka A., Wilson B. M., Allen J., Tirichine L., Bowler C. Chloroplast-mitochondria cross-talk in diatoms. *J. Exp. Bot.* 2012. Vol. 63, iss. 4. P. 1543–1557.

Rocha R. A., Thomas S. M., Carvalho P., Gomes L. C. Modeling chlorophyll-a and dissolved oxygen concentration in tropical floodplain lakes (Parana River, Brasil). *Braz. J. Biol.* 2009. Vol. 69, no. 2. P. 491–500.

Ruggiero M. A., Dennis P., Gordon D. P., Orrell T. M., Bailly N., Bourgoin T., Brusca R., Cavalier-Smith T., Guiry M. D., Kirk P. M. A higher level classification of all living organisms. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10, no. 4. P. 1–60.

West J. A. Cryptophyta. *Beaches and Coastal Geology. Encyclopedia of Earth Series*. Springer, 1982. doi: 10.1007/0-387-30843-1\_138

Received February 18, 2021

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Абрамова Ксения Ивановна**

научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ  
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,  
420087  
эл. почта: kseniaiv@yandex.ru  
тел.: (843) 2981505

### **Токинова Римма Петровна**

заведующая лаб. гидробиологии, к. б. н.  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ  
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,  
420087  
эл. почта: r.tokin@rambler.ru  
тел.: (843) 2981505

### **Водунон Наиля Робертовна**

научный сотрудник, к. б. н.  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ  
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,  
420087  
эл. почта: vodounonnr@gmail.ru  
тел.: (843) 2981505

### **Шагидуллин Рифгат Роальдович**

директор, д. х. н.  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ  
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,  
420087  
эл. почта: Shagidullin\_@mail.ru  
тел.: (843) 2981505

### **Шурмина Надежда Васильевна**

научный сотрудник  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ  
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,  
420087  
эл. почта: shurmina2015@yandex.ru  
тел.: (843) 2981505

## CONTRIBUTORS:

### **Abramova, Ksenia**

Research Institute for Problems of Ecology  
and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences  
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: kseniaiv@yandex.ru  
tel.: (843) 2981505

### **Tokinova, Rimma**

Research Institute for Problems of Ecology  
and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences  
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: r.tokin@rambler.ru  
tel.: (843) 2981505

### **Vodounon, Nailya**

Research Institute for Problems of Ecology  
and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences  
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: vodounonnr@gmail.ru  
tel.: (843) 2981505

### **Shagidullin, Rifgat**

Research Institute for Problems of Ecology  
and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences  
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: Shagidullin\_@mail.ru  
tel.: (843) 2981505

### **Shurmina, Nadezhda**

Research Institute for Problems of Ecology  
and Mineral Wealth Use, Tatarstan Academy of Sciences  
28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
e-mail: shurmina2015@yandex.ru  
tel.: (843) 2981505

УДК 504.064.2

## ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МАЛОЙ РЕКИ: ОЦЕНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ ИНДЕКСОВ

А. В. Козлова, Н. В. Зуева

Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, Россия

Проведено построение композитного индекса для оценки экологического состояния малой реки. Апробация индекса выполнена для реки Ижоры (Ленинградская обл. и г. Санкт-Петербург). Композитный индекс рассчитан на основе методов сводных показателей. Для анализа использованы гидрохимические и гидробиологические – биоиндикационные и биотестовые (токсикологические) характеристики. Первоначально была проведена оценка качества вод на различных станциях водотока на основе единичных гидрохимических и гидробиологических оценок. Исток реки по значению индекса загрязненности воды (ИЗВ) и индекса ВІ характеризуется как «чистый». Однако здесь зафиксировано преобладание олигохет в донных сообществах. Участки верхнего и среднего течения р. Ижоры по гидрохимическим и гидробиологическим характеристикам более благополучны. Здесь самые низкие значения сапробности (в диапазоне 2,56–2,86). По значению олигохетного индекса воды отнесены к «чистым». Индекс Вудивисса оценивает воду в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная». Устьевой участок имеет самые высокие значения индекса сапробности (3,50) и олигохетного индекса (98 %). По значению индекса Вудивисса его воды отнесены к классу «грязные». Такие результаты хорошо соотносятся с оценкой качества вод по гидрохимическим показателям – здесь зафиксированы повышенные значения БПК<sub>5</sub> и низкое содержание кислорода, высок индекс загрязненности воды. Для интегральной экологической оценки в работе предложена модель-классификация состояния водотока. В качестве приоритетных признаков в ней использовались: ИЗВ, индекс сапробности по Чертопрудю, олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле, биотический индекс Вудивисса и результаты биотестирования природной воды с использованием *Chlorella vulgaris* Beijerinck и *Paramecium caudatum* Ehrenberg. Расчет индекса проведен для пяти категорий экологического состояния. В результате расчета композитного индекса для р. Ижоры установлено, что благополучное экологическое состояние характерно для створов, расположенных в ее среднем течении. Истоковая область характеризуется удовлетворительным экологическим состоянием. Неудовлетворительное экологическое состояние определено для устьевого участка, что подтверждается не только повышенным содержанием загрязняющих веществ, но и наличием токсического действия. Также этот участок отличается преобладанием видов – индикаторов сапробного загрязнения, минимальным видовым богатством представителей макрозообентоса.

Ключевые слова: интегральная оценка экологического состояния; р. Ижора; г. Санкт-Петербург; загрязнение; качество воды; макрозообентос; биоиндикация; биотестирование; индекс загрязненности воды.

## A. V. Kozlova, N. V. Zueva. ECOLOGICAL STATUS OF A SMALL RIVER: EVALUATION USING COMPOSITE INDICES

This work focuses on the evaluation of the ecological status of the Izhora River using composite indices. The river's hydrochemical and hydrobiological (bioindication and bioassay) characteristics were analyzed. The composite index was calculated using the method of summary indicators. Initially, the water quality was estimated on the basis of single hydrochemical and hydrobiological characteristics. The source area of the river is characterized as "clean" by the values of the water pollution index and the biotic index. However, there was a predominance of oligochaetes in the bottom communities. The upper- and middle reaches of the Izhora River are in a more favourable condition judging by hydrochemical and hydrobiological characteristics. The lowest recorded values of saprobity were in the 2.56–2.86 range. According to the oligochaete index, the water is classified as "clean". The Woodiwiss index places the water into the "clean" – "moderately polluted" range. Water in the river mouth has the highest values for the saprobity index (3.50) and the oligochaete index (98 %). According to the Woodiwiss index, the water is classified as "dirty". Such results are well correlated with the evaluation of water quality by hydrochemical indicators. There are high levels of organic substances (4x maximum permissible concentrations) and low oxygen content, high water pollution index ("moderately polluted" quality class). Next, a classification model was proposed for obtaining an integral value of the ecological status of the watercourse. Its priority parameters are: water pollution index; Pantle – Buck saprobity index modified by Chertoprud; Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index), and results of natural water bioassay using *Chlorella vulgaris* Beijer and *Paramecium caudatum* Ehrenberg. The index was calculated for five categories of the ecological status. Calculations of the composite index revealed that a good ecological status is characteristic of channels in the middle course. The source area of the river is in satisfactory ecological condition according to the value of the integral index. As the river originates from a spring, the area is characterized by low oxygen content and, consequently, a predominance of organisms resistant to its deficiency. The ecological status of the mouth section of the river is poor. This is evidenced not only by the exceedance of regulatory limits for the main pollutants and toxic effects, but also by the presence of indicator species of saprobic pollution and very low species richness of macrozoobenthos.

**Key words:** integral evaluation of ecological status; Izhora River; St. Petersburg; contamination; water quality; macrozoobenthos; bioindication; bioassay; water pollution index.

### Введение

Малые реки – первое звено формирования водных ресурсов. Во многих регионах, в том числе в г. Санкт-Петербурге, эти водотоки определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику крупных и средних рек. Экосистемы таких малых водотоков наиболее хрупкие и уязвимые к внешнему воздействию.

Протекая по территории населенных пунктов, промышленных зон, сельских районов, малые реки становятся приемниками сточных вод различного происхождения. Это определяет многокомпонентность их химического состава и изменения в речной биоте. Поэтому целесообразно использовать комплексные методы и интегральную оценку, анализируя их экологическое состояние [Амаро Медина, Дмитриев..., 2019]

Разработано значительное число методов, используемых для оценки свойств водных экосистем. Наиболее распространены в гидро-

экологических исследованиях две их группы: физико-химические и биологические. Каждая имеет свои достоинства и недостатки, поэтому при оценивании сложных свойств экосистем наиболее целесообразным является совместное использование этих методов. Они взаимно дополняют друг друга и обеспечивают получение наиболее объективных результатов.

Примеры совместного использования гидрохимических и биологических методов встречаются в работах многих авторов. Как правило, большинство таких оценок основаны на покомпонентной оценке качества вод, расчете комплексных индексов или балльных оценках [Дмитриев, 2000; Гелашвили и др., 2002; Даирова, Зинченко, 2010; Дмитриев, Огурцов, 2013; Засыпкин и др., 2018; Дмитриев и др., 2020].

Еще одной разновидностью методов анализа свойств водных экосистем являются комбинированные индексы. Применение такого подхода позволяет проводить оценку интегративных

свойств сложных систем, которыми и являются водные экосистемы. Построение композитных индексов на основе совместного использования ряда характеристик является одним из наиболее объективных и достоверных методов оценки экологического состояния. Понятие «композитный индекс» имеет экономическое происхождение [Митяков, Корнилов, 2010]. В геоэкологических исследованиях этот термин отождествляется с понятием «интегральный показатель» [Дмитриев и др., 2020]. Концепция композитных индексов применяется как за рубежом [Brousmitche et al., 2020], так и в нашей стране [Дмитриев и др., 2020]. В работе [Пленкина и др., 2020] приведены примеры использования композитного индекса для оценки экологического статуса водоемов.

Таким образом, целью работы было построение композитного индекса для оценки экологического состояния малого водотока и апробация индекса для р. Ижоры.

### Материалы и методы

Географическим объектом исследования в данной работе является малая река северо-запада европейской части России – р. Ижора. Это левый приток р. Невы, его длина 76 км, водосборная площадь 1000 км<sup>2</sup> [Схема..., 2010]. Берет свое начало на Ижорской возвышенности в области распространения карста.

Административно река протекает как по территории Ленинградской области (Гатчинский и Тосненский районы), так и г. Санкт-Петербурга (Колпинский район).

Это хозяйственно освоенные, урбанизированные территории, деятельность человека на которых влияет на экосистему водотока. Река принимает сточные воды от организаций водопроводно-канализационного хозяйства (г. Коммунар, п. Войскововицы, п. Пудость, п. Верево, д. Вайялово) и от производственных предприятий (г. Колпино, п. Тельмана, п. Лукаши, д. Ям-Ижора, д. Скворицы, д. Федоровское, д. Аннолово) [Перечень..., 2018]. Кроме того, на территории города сток зарегулирован плотиной Ижорского водохранилища [Схема..., 2010].

Материалами для исследования послужили натурные данные, полученные в июле 2019–2020 гг. Полевые работы проводились на шести станциях, расположенных от истока до устья (рис. 1). Станция 1 расположена непосредственно в роднике-истоке, а остальные пять станций – участки реки. Места отбора проб ст. 1–5 расположены в Ленинградской области. Устьевая точка – ст. 6 – находится в Колпинском районе г. Санкт-Петербурга и совпадает со станцией государственного мониторинга [Доклад..., 2010].

Работы проводились по общепринятым методикам [Руководство..., 1992] и включали в себя: отбор проб воды из поверхностного горизонта для дальнейшего гидрохимического и токсикологического исследования; отбор донных отложений для определения характеристик макрозообентоса. Видовая идентификация организмов зообентоса выполнена с. н. с. лаборатории гидробиологии ГосНИОРХ

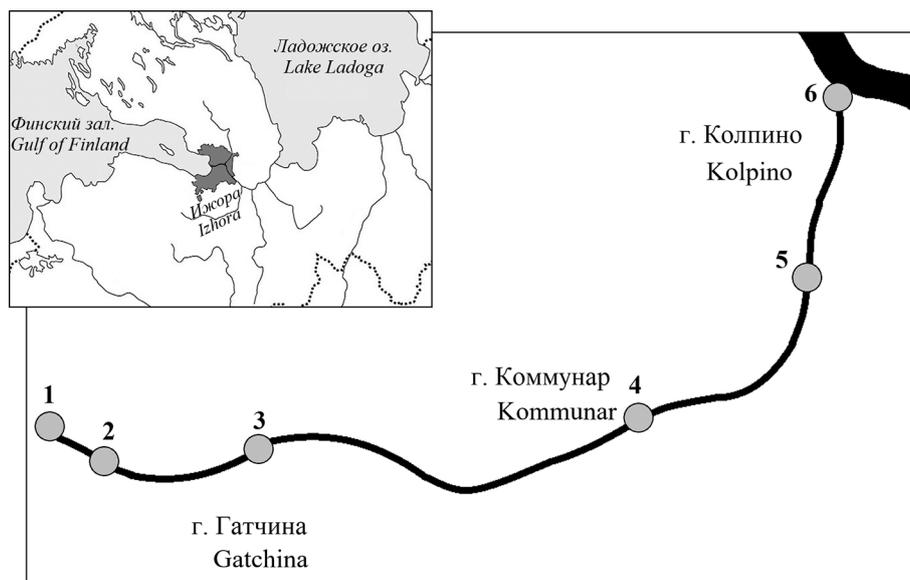


Рис. 1. Станции полевых исследований на р. Ижоре

Fig. 1. Sampling stations on the Izhora River

им. Л. С. Берга к. б. н. Ю. А. Зуевым. В качестве основного норматива, который был использован при оценке качества вод р. Ижоры по гидрохимическим показателям, использована предельно допустимая концентрация веществ в водах объектов рыбохозяйственного назначения [Приказ..., 2016].

На основе первичного материала выполнены расчеты индекса загрязненности воды (ИЗВ) по химическим параметрам [Временные..., 1986]; индекса сапробности по: [Чертопруд, 2002], олигохетного индекса Гуднайта – Уитли (в модификации Пареле) и биотического индекса Вудивисса по данным о макрозообентосе [Руководство..., 1992]. Как тест-объекты для оценки токсического действия применялись одноклеточные зеленые водоросли – хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) и простейшие – инфузории (*Paramecium caudatum* Ehrenberg) [ПНД..., 2014; ФР..., 2015]. Построение модели-классификации с последующим расчетом композитного индекса реализовано на основе метода сводных показателей (МСП) [Хованов, 1996; Дмитриев, 2010].

## Результаты и обсуждение

### Гидрохимическая характеристика

Воды реки Ижоры в период исследований характеризовались нейтральной или слабощелочной реакцией среды. Жесткость воды по течению реки уменьшалась – от «жесткой» до

«средней жесткости». Это связано с геологическим строением истоковой области – Ижорской возвышенности, сложенной известняками и доломитами [Геология..., 1971].

На большей части водотока (ст. 2–5) отмечался относительно благоприятный кислородный режим (рис. 2). Низкое содержание растворенного кислорода на ст. 1 вызвано природными факторами – это родник, место разгрузки подземных вод, для которых характерно его отсутствие. Устьевой участок (ст. 6) в оба года исследований отличался пониженными концентрациями  $O_2$  (рис. 2). По-видимому, это связано с загрязненностью органическими веществами, так как величина БПК<sub>5</sub> превышает ПДК на этой станции и в 2019 г. (2,4ПДК), и в 2020-м (4ПДК). Также высоким было содержание легкоокисляемых органических веществ в 2020 г. на ст. 5 (2,7ПДК).

Концентрация биогенных веществ (форм азота и фосфора) увеличивается от истока к устью, являясь максимальной и в устьевой зоне. Исключение составляет азот нитратов, содержание которого в 2020 г. максимально в точке 1 и далее вниз по течению уменьшается. Содержание суммарного железа возрастает по течению, достигая в устье водотока 5ПДК. Концентрации нефтепродуктов в 2019 г. превысили ПДК в четырех случаях. Максимальная концентрация по этим веществам также регистрировалась на ст. 6 (15ПДК).

Стоит отметить, что по данным о содержании загрязняющих веществ, приведен-

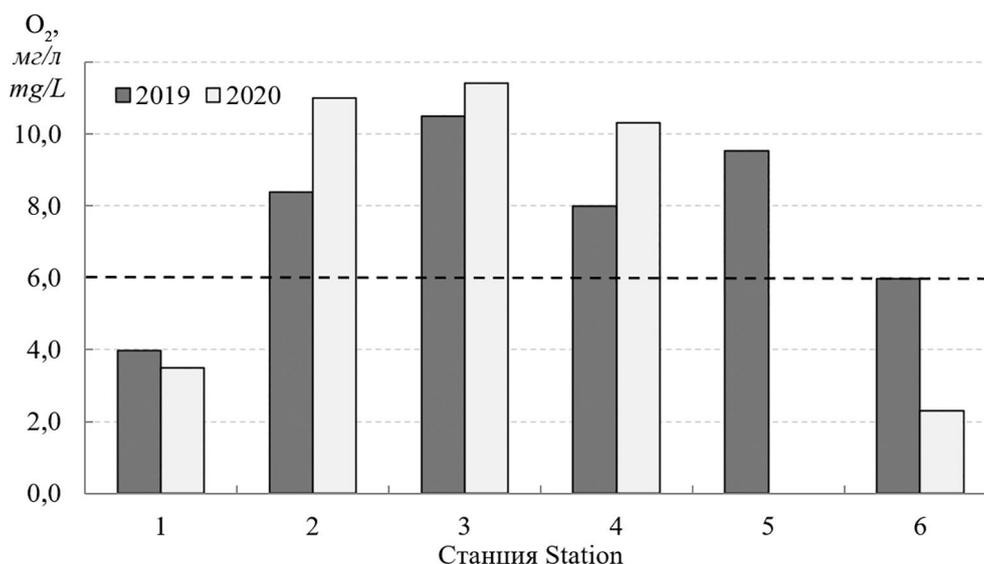


Рис. 2. Содержание растворенного кислорода на исследованных станциях р. Ижоры в 2019–2020 гг. Черным пунктиром указан норматив содержания кислорода

Fig. 2. The concentration of dissolved oxygen at the stations of the Izhora River in 2019–2020. The black dotted line – dissolved oxygen concentration standard

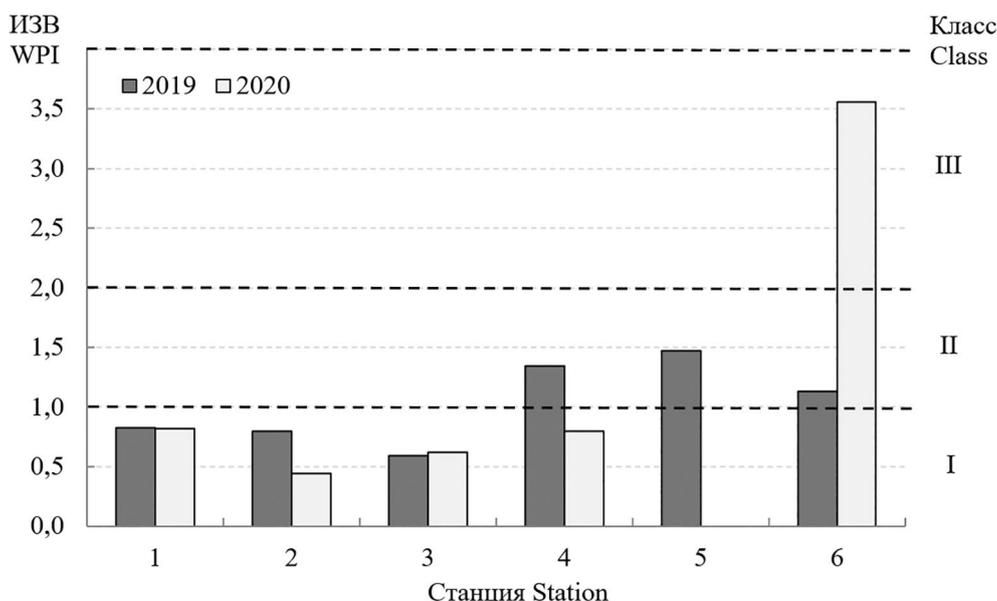


Рис. 3. Значение ИЗВ для исследованных станций р. Ижоры в 2019–2020 гг. и класс качества вод: I – чистые; II – умеренно загрязненные; III – загрязненные

Fig. 3. The Water Pollution Index (WPI) for the studied stations of the Izhora River in 2019–2020 and the class of water quality: I – clean; II – moderately contaminated, III – contaminated

ным в [Доклад..., 2010, 2015–2017] и наших предыдущих работах [Козлова и др., 2020], получена сходная картина загрязненности устьевой зоны р. Ижоры. Основными загрязняющими веществами здесь являются БПК<sub>5</sub> (2016 г.) и азот нитритов (2010, 2015 гг.). В 2016–2017 гг. в водах р. Ижоры также было зафиксировано низкое содержание растворенного кислорода.

В качестве комплексного показателя для оценки загрязненности р. Ижоры для каждой станции отбора проб был рассчитан индекс загрязненности воды (ИЗВ) (рис. 3). Станции, расположенные в нижнем течении реки (ст. 1, 2, 3), по значению ИЗВ характеризуются как «чистые» за весь исследуемый период (рис. 3). При движении к устью значения увеличиваются, и воды относятся к классу «умеренно загрязненные». Устьевой участок отличается высоким значением ИЗВ в оба года исследований, причем в 2020 г. попадает в класс «загрязненные» воды.

Такая низкая оценка в замыкающем створе совпадает с результатами государственного мониторинга качества вод. По гидрохимическим показателям р. Ижора с 1988 по 2019 гг. классифицировалась как «очень загрязненная» и «грязная». В работе [Клубов, Третьяков, 2019] также отмечается, что качество воды в створах, расположенных ниже по течению, значительно хуже, чем в верхних.

#### Гидробиологическая характеристика

Анализ материалов по макрозообентосу выполнен для четырех точек: станций 1, 2, 4, 6 (табл. 1). Всего определено 36 таксонов донных беспозвоночных. Максимальное богатство характерно для среднего течения реки (ст. 4), где выявлено 19 таксонов. Минимум числа видов зафиксирован в устьевой зоне (ст. 6), где их всего 4.

Численность и биомасса зообентоса варьируют в широком диапазоне (табл. 1). Причем прослеживается уменьшение биомассы к устьевой точке. Численность наименьшая также в замыкающем створе. Основной вклад в численность вносят олигохеты (на ст. 1 и 6) и личинки комаров-звонцов (ст. 2 и 4). Наибольший вклад в биомассу вносят олигохеты практически на всех исследованных участках: на ст. 1 это вид *Stylogrillus heringianus* Claparède, 1862, на ст. 4 – *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826), а на последней ст. 6 – *Tubificidae* sp. Только на ст. 2 по биомассе доминируют ручейники (*Limnephilus* sp.).

Устьевой створ по значению индекса Вудивисса характеризуется как «грязный» (табл. 1). По индексу сапробности (S) и олигохетному индексу (D) он отнесен к зоне, загрязненной органическими веществами. Причем здесь отмечены самые высокие значения этих индексов. Такие результаты хорошо соотносятся с оценкой

Таблица 1. Количественные характеристики макрозообентоса и индексы качества вод исследованных станций р. Ижоры в 2019 г.

Table 1. Quantitative characteristics of macrozoobenthos and water quality indices for the studied stations of the Izhora River in 2019.

Показатель Index	Станция Station			
	1	2	4	6
N, экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	9267	5240	16680	1960
B, г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	21,1	10,8	16,0	2,0
S сапробность saprobity	3,20 α-мезо α-meso	2,86 α-мезо α-meso	2,50 β-мезо β-meso	3,50 α-мезо α-meso
D, % Класс качества Class of quality	73,4 грязная polluted	23,7 чистая clean	16,5 очень чистая very clean	98,0 очень грязная heavily polluted
BI Класс качества Class of quality	7 чистая clean	6 умеренно загрязненная moderately contaminated	7 чистая clean	2 грязная polluted

Примечание. N – численность; B – биомасса; S – индекс сапробности (по Чертопруду); D – олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле; BI – биотический индекс Вудивисса.

Note. N – abundance; B – biomass; S – Pantele – Buck saprobity index modified by Chertoprud; D – Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); BI – Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index).

качества вод по гидрохимическим показателям – на этой станции отмечаются повышенные значения БПК<sub>5</sub> и низкое содержание кислорода, высок индекс загрязненности воды.

Станция 1 по значению индекса BI характеризуется как «чистая». Однако здесь регистрируется преобладание олигохет в донных сообществах, участок отнесен к α-мезосапробной зоне. Такая картина, вероятно, складывается из-за расположения этой станции непосредственно в области родника. Подземные воды, выходя на поверхность, еще не насыщены кислородом. В таком месте формируется фауна, устойчивая к его дефициту.

Состояние участков верхнего и среднего течения р. Ижоры (ст. 2, 4) по гидробиологическим характеристикам более благополучное. Здесь самые низкие значения сапробности и олигохетного индекса. Индекс Вудивисса позволяет оценить качество воды в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная».

Характеристика сообществ зообентоса и оценка по ней качества вод неоднократно выполнялась исследователями Зоологического института [Алимов, Финогенова, 1976; Балушкина, 2003, 2004; Голубков и др., 2020]. Е. В. Балушкиной [2003, 2004] для р. Ижоры было показано, что число видов донных животных – наиболее уязвимая характеристика. Она снижается в том числе при загрязненности воды: высоком содержании органического вещества, повышении концентраций биогенных соединений. Поэтому малое число видов, вы-

явленных на устьевой станции, можно с уверенностью связать с низким качеством вод, также наблюдаемым здесь. Кроме того, отмечалось [Балушкина, 2004], что в водах, оцениваемых как «загрязненные», в р. Ижоре из сообщества донных животных полностью исчезли Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Coleoptera, Planaria, Hydra, Hydracarina и Hirudinea. Именно такая ситуация зафиксирована в момент наших исследований на замыкающем створе (ст. 6).

Для воды на всех исследованных станциях определена допустимая степень токсичности при использовании тест-объекта *Paramecium caudatum*. Однако по изменению оптической плотности *Chlorella vulgaris* зафиксировано наличие токсического действия на станциях верхнего течения (1–2) и устья (6). Ранее Л. Ф. Литвинчук [2019] указывала, что у зоопланктонного сообщества реки наблюдались признаки, свидетельствующие о токсическом загрязнении.

#### Построение композитного индекса для оценки экологического состояния реки

Расчет композитного индекса выполнялся в несколько последовательных этапов. Вначале были выбраны приоритетные признаки, которые составляют основу модели-классификации оценки экологического состояния. Такая оценка должна быть выполнена с учетом как абиотической составляющей водной экосистемы, так и с учетом характеристик биоты. Поэтому в данной работе предложенная мо-

дель объединяет три блока признаков: гидрохимический, гидробиологический биоиндикационный и гидробиологический биотестовый (токсикологический).

В качестве гидрохимического признака используется ИЗВ. В расчет этого индекса включены данные о содержании загрязняющих веществ, полученные в 2020 году. В гидробиологической составляющей использованы результаты расчета следующих биотических индексов по данным 2019 года: индекс сапробности по Чертопруду, олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле и биотический индекс Вудивисса. Токсикологический блок включал в себя результаты биотестирования природной воды, проведенные в 2020 году, с использованием двух тест-объектов разных таксономических групп: водорослей *Chlorella vulgaris* и простейших *Paramecium caudatum*. В расчете композитного индекса используется биотестовый показатель, демонстрирующий наибольший уровень токсичности.

Выделено пять категорий экологического состояния: благополучное, удовлетворительное, неудовлетворительное, кризисное и катастрофическое (табл. 2). Далее для каждой категории экологического состояния по каждому приоритетному признаку были определены границы классов. При этом наилучшему экологическому состоянию соответствует 0, наихудшему – 1.

Выделение количественных диапазонов по гидрохимическому блоку основывалось на используемых при расчете ИЗВ методических рекомендациях [Временные..., 1986]. В соответствии с ними при расчете ИЗВ для поверхностных вод суши выделяют 7 классов качества. Применительно к предложенной модели-классификации первый и второй класс качества вод соответствуют категории «благополучное». Пятая категория экологического состояния объединяет в себе также два класса качества вод: «очень грязные» и «чрезвычайно грязные».

В блоке с биоиндикационными показателями выделение диапазонов основано на классификации качества водных объектов по гидробиологическим и микробиологическим параметрам [ГОСТ 17.1.3.07-82]. Так, для получения пяти градаций экологического состояния по индексу сапробности «ксеносапробная» и «олигосапробная» зоны объединены в первую категорию, а «полисапробная» и «гиперсапробная» зоны соответствуют катастрофическому экологическому состоянию.

Для олигохетного индекса D выделяется шесть степеней загрязненности воды. Поэто-

му в предложенной модели-классификации (табл. 2) классы качества воды «очень чистая» и «чистая» объединены в категорию «благополучное» экологическое состояние. Остальные категории качества вод совпадают с установленными Э. А. Пареле градациями.

Классификация качества вод по индексу Вудивисса предусматривает лишь четыре класса. При этом в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 крайний диапазон полисапробной зоны делится на категорию качества «грязная» и «очень грязная», а олигосапробной – на «очень чистую» и «чистую». В разработанной модели (табл. 2), предусматривающей пять категорий состояния, аналогично ГОСТ 17.1.3.07-82, классы «очень чистая» и «чистая» соответствуют благополучному экологическому состоянию.

Результаты биотестирования включены в интегральную оценку с использованием градаций, предложенных ранее в работе [Зуева и др., 2018] для индекса токсичности (Т) и изменения оптической плотности тест-культуры хлореллы (J).

На следующем этапе, чтобы избавиться от размерности, получены нормированные значения по каждому признаку и каждой категории экологического состояния. После приведения к единой безразмерной шкале произведен расчет композитного индекса. При расчете композитного индекса было принято, что используемые приоритетные признаки равновесны. Для предложенной модели-классификации реализовано два уровня свертки информации. Сначала были рассчитаны композитные индексы отдельно для биоиндикационного блока. Далее рассчитан единый композитный индекс, основанный на использовании гидрохимических, гидробиологических и токсикологических признаков. Ввиду изменения значений оптической плотности *Chlorella vulgaris* в диапазоне от –100 до 100 % для удобства и правильности получения итогового результата исходный диапазон был разделен на две части: положительную и отрицательную. Следовательно, по результатам расчета получено два композитных индекса ( $Q_+$  и  $Q_-$ ) (табл. 3).

Предложенная модель апробирована для оценки экологического состояния исследованных станций р. Ижоры (табл. 4). Наименьшим значением интегрального показателя и, следовательно, благополучным экологическим состоянием характеризуется среднее течение водотока (ст. 2 и 4). Исток реки соответствует классу «удовлетворительное» состояние. Максимальное значение  $Q$  и неудовлетворительное экологическое состояние отмечается для устьевого зоны.

Таблица 2. Модель-классификация для оценки экологического состояния водотока

Table 2. Classification scheme of river ecological status

Признаки Index	Категории экологического состояния Class of ecological status				
	Благополучное Good	Удовлетворительное Satisfactory	Неудовлетворительное Unsatisfactory	Кризисное Bad	Катастрофическое Very bad
	I	II	III	IV	V
Гидрохимический блок Hydrochemical part					
ИЗВ WPI Класс качества Class of quality	0–1 очень чистые чистые very clean clean	1–2 умеренно загрязненные moderately contaminated	2–4 загрязненные contaminated	4–6 грязные polluted	6–12 очень грязные чрезвычайно грязные heavily polluted extremely polluted
Биоиндикационный блок Bioindication part					
S Класс качества Class of quality	0–1,50 очень чистые чистые very clean clean	1,50–2,50 умеренно загрязненные moderately contaminated	2,50–3,50 загрязненные contaminated	3,50–4,00 грязные polluted	4,00–6,00 очень грязные heavily polluted
D, % Класс качества Class of quality	0–34 очень чистые чистые very clean clean	34–50 умеренно загрязненные moderately contaminated	50–67 загрязненные contaminated	67–85 грязные polluted	85–100 очень грязные heavily polluted
BI Класс качества Class of quality	10–7 очень чистые чистые very clean clean	7–5 умеренно загрязненные moderately contaminated	5–3 загрязненные contaminated	3–2 грязные polluted	2–0 очень грязные heavily polluted
Биотестовый блок Bioassay part					
T Степень токсичности toxicity level	0–0,20 допустимая permissible	0,20–0,40 допустимая permissible	0,40–0,70 умеренная medium	0,70–0,90 высокая high	0,90–1,00 высокая high
J, % Наличие т. д. toxic effects	0–15 не оказывает т. д. no t. e.	15–30 не оказывает т. д. no t. e.	30–70 наличие т. д. t. e.	70–90 наличие т. д. t. e.	90–100 наличие т. д. t. e.
	0–(-10) не оказывает т. д. no t. e.	-10–(-20) не оказывает т. д. no t. e.	-20–(-60) наличие т. д. t. e.	-60–(-90) наличие т. д. t. e.	-90–(-100) наличие т. д. t. e.

Примечание. ИЗВ – индекс загрязненности воды; S – индекс сапробности (по Чертопруду); D – олигохетный индекс Гуднайта – Уитли в модификации Пареле; BI – биотический индекс Вудивисса; T – индекс токсичности для *Paramecium caudatum*; J – изменение оптической плотности *Chlorella vulgaris*; т. д. – токсическое действие.

Note. WPI – water pollution index; S – Pantle – Buck saprobity index modified by Chertoprud; D – Goodnight – Whitley Index (modified by Parele); BI – Woodiwiss Biotic Index (Trent Biotic Index); T – *Paramecium caudatum* toxicity index; J – *Chlorella vulgaris* optical density; t. e. – toxic effects.

Таблица 3. Композитные индексы для интегральной оценки экологического состояния реки

Table 3. Composite indices for integrated evaluation of the river ecological status

Признаки Index	Категории экологического состояния Class of ecological status				
	Благополучное Good	Удовлетворительное Satisfactory	Неудовлетворительное Unsatisfactory	Кризисное Bad	Катастрофическое Very bad
	I	II	III	IV	V
$Q_+$	0–0,185	0,185–0,330	0,330–0,550	0,550–0,724	0,724–1,0
$Q_-$	0–0,177	0,177–0,313	0,313–0,534	0,534–0,724	0,724–1,0

Примечание.  $Q_+$  – композитный индекс для оценки экологического состояния водотока в случае положительного значения J;  $Q_-$  – композитный индекс для оценки экологического состояния водотока в случае отрицательного значения J.

Note.  $Q_+$  – composite indices for integrated evaluation of the watercourse ecological status (positive value of J);  $Q_-$  – composite indices for integrated evaluation of the watercourse ecological status (negative value of J)

Таблица 4. Расчет интегрального показателя Q для оценки экологического состояния р. Ижоры

Table 4. Calculation of an integral indicator Q to evaluate the ecological status of the Izhora River

Станция Station	Q Composite index	Экологическое состояние Ecological status
1	0,294	Удовлетворительное Satisfactory
2	0,173	Благополучное Good
4	0,126	
6	0,420	Неудовлетворительное Unsatisfactory

Полученная картина обобщает в том числе и предварительно выполненную покомпонентную оценку качества воды на станциях р. Ижоры. Так, замыкающий створ по всем использованным показателям демонстрировал низкое качество воды. Составить представление о его экологическом состоянии было несложно. Однако нижнее и среднее течение отличались неоднозначностью оценок. Часть показателей характеризовали воду как «чистую», в то время как другие характеристики свидетельствовали об обратном, как, например, на ст. 1 (табл. 1). Таким образом, оценка с использованием композитного индекса позволила прийти к конкретному заключению.

### Заключение

Построен композитный индекс для оценки экологического состояния малой реки Ижоры, протекающей в пределах городской черты и испытывающей сильное антропогенное воздействие. Оценка качества вод, проведенная на основе единичных гидрохимических и гидробиологических оценок, позволила выявить закономерности между их распределением. Исток реки по большинству исследуемых параметров относится к «чистым» водам. Но поскольку станция исследования расположена в роднике, здесь зафиксировано низкое содержание кислорода и преобладание олигохет в донных сообществах. Участки верхнего и среднего течения р. Ижоры характеризовались низкими значениями сапробности, и по значению олигохетного индекса их воды отнесены к «чистым». Индекс Вудивисса оценивает воду в диапазоне «чистая» – «умеренно загрязненная». Приустьевой отрезок реки имеет самые высокие значения по индексу сапробности и олигохетному индексу, данный участок отнесен к зоне, загрязненной органическими веществами. По значению индекса Вудивисса воды отнесены к классу «грязные». Полученные результаты соотносятся с оценкой качества вод с использованием гидрохимических пока-

зателей. Здесь зафиксировано превышение допустимых значений по БПК<sub>5</sub> (4ПДК) и низкое содержание кислорода, следовательно, высок индекс загрязненности воды (класс качества – «умеренно загрязненные»).

Для интегральной оценки экологического состояния водотока сконструирован и рассчитан композитный индекс, основанный на совместном использовании гидрохимических, гидробиологических и токсикологических характеристик.

Расчет композитного индекса для р. Ижора позволил сделать вывод о том, что воды среднего течения реки находятся в благополучном экологическом состоянии. Исток реки по значению рассчитанного параметра характеризуется удовлетворительным экологическим состоянием. Максимальное значение композитного индекса и неудовлетворительное экологическое состояние характерно для устьевого участка.

Сопоставление полученных в ходе покомпонентного анализа результатов с интегральной оценкой экологического состояния для большинства участков водотока дало схожие результаты. Тем не менее реализованная процедура свертки исходной информации позволила обобщить полученные ранее результаты, а также определить уточненное количественное значение композитного индекса.

Таким образом, установлено, что р. Ижора загрязнена и продолжает испытывать на себе негативное влияние недостаточно очищенных сточных вод. Особенно это касается приустьевой зоны, что подтверждается не только повышенным содержанием загрязняющих веществ и наличием токсического действия, но и преобладанием видов – индикаторов сапробного загрязнения и минимальным видовым богатством представителей макрозообентоса.

*Авторы глубоко признательны за помощь: в анализе гидробиологического материала – Ю. А. Зуеву, М. В. Ротман и А. Ю. Куличенко; в проведении гидрохимических исследований – Ю. А. Пашуковой, Е. Н. Ро-*

мановой и А. М. Беляковой; в организации полевых работ – Д. К. Алексееву, Е. С. Урусовой и Т. Ю. Рузановой.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00683-а.

## Литература

Алимов А. Ф., Финогенова Н. П. Количественная оценка роли сообществ донных животных // Гидробиологические основы самоочищения вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1976. С. 5–14.

Амаро Медина Д. Р., Дмитриев В. В. Интегральная оценка экологического благополучия речных систем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Т. 64(2). С. 162–184. doi: 10.21638/spbu07.2019.201

Балушкина Е. В. Структура сообществ донных животных и оценка экологического состояния р. Ижоры: влияние гидрофизических и гидрохимических параметров воды // Биология внутренних вод. 2003. № 1. С. 74–80.

Балушкина Е. В. Изменение структуры сообществ донных животных при антропогенном воздействии на водные экосистемы (на примере малых рек Ленинградской области) // Евроазиатский энтомологический журнал. 2004. Т. 3(4). С. 276–282.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. М.: Госкомгидромет, 1986. 5 с.

Гелашвили Д. Б., Зинченко Т. Д., Выхристюк Л. А., Крандашова А. А. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия Самарского научного центра РАН. 2002. Т. 4, № 2. С. 270–275. doi: 10.15372/SEJ20200204

Геология СССР. Т. I. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-Западное территориальное ГУ. М.: Недра, 1971. 504 с.

Голубков С. М., Балушкина Е. В., Голубков М. С. Восстановление сообществ зообентоса и качества вод речной экосистемы после снижения уровня органического загрязнения // Сибирский экологический журнал. 2020. Т. 27, № 2. С. 184–196. doi: 10.15372/SEJ20200204

ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 1982.

Даирова Д. С., Зинченко Т. Д. Методологический подход в оценке экологического состояния дельты р. Волги // Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. Т. 19, № 4. С. 16–24.

Дмитриев В. В. Оценка экологического состояния водных объектов суши (часть II). Уязвимость водной экосистемы // Экология. Безопасность. Жизнь. Экологический опыт гражданских, общественных инициатив. 2000. С. 284–296.

Дмитриев В. В. Интегральные оценки состояния сложных систем в природе и обществе // Биосфера. 2010. Т. 2, № 4. С. 507–520.

Дмитриев В. В., Огурцов А. Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник СПбГУ. 2013. Сер. 7. Вып. 3. С. 88–103.

Дмитриев В. В., Огурцов А. Н., Седова С. А., Алексеева А. А., Байжанова К. К., Грига С. А., Кислина А. Е. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов: от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 45–53. doi: 10.17513/use.37330

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2010 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2015 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2016 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2017 г. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в г. Санкт-Петербурге. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (дата обращения: 05.02.2021).

Засыпкин П. Д., Ушакова О. С., Оболдина Г. А., Павлюк Т. Е. Комплексный подход к оценке экологического благополучия водных экосистем // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. 2018. № 5. С. 86–100.

Зуева Н. В., Козлова А. В., Куличенко А. Ю. Опыт использования токсикологических характеристик в интегральной оценке экологического состояния водного объекта // Труды КарНЦ РАН. № 3. 2018. С. 43–56. doi: 10.17076/lim706

Козлова А. В., Зуева Н. В., Урусова Е. С. Оценка качества вод р. Ижоры // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: Сб. докладов междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского ученого Ю. Б. Виноградова. СПбГУ (Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 г.). СПб., 2020. С. 895–899.

Клубов С. М., Третьяков В. Ю. Оценка загрязненности вод рек Санкт-Петербурга с использованием справочных материалов ГУП «Водоканал СПб» в 2018 году // Уч. зап. КФУ им. В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5(71), № 3. С. 160–174.

Литвинчук Л. Ф. Особенности зоопланктонного сообщества верхнего течения реки Ижора (бассейн Балтийского моря) в условиях длительного антропо-

погенного воздействия // Принципы экологии. 2019. № 1. С. 47–62. doi: 10.15393/j1.art.2019.8522

Митяков Е. С., Корнилов Д. А. К вопросу о выборе весов при нахождении интегральных показателей экономической динамики // Труды НГТУ им. П. Е. Алексеева. 2011. № 3(90). С. 289–299.

Перечень действующих решений о предоставлении водного объекта в пользование. URL: [https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen\\_deistvuyushih\\_reshenii\\_o\\_predostavlenii\\_vodnuh\\_obektov\\_v\\_polzovanie.pdf](https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen_deistvuyushih_reshenii_o_predostavlenii_vodnuh_obektov_v_polzovanie.pdf). 2018 (дата обращения: 05.02.2021).

Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 Т 16.1:2:2.3:3.7-04. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. М., 2014. 36 с.

Пленкина А. К., Дмитриев В. В., Федорова И. В., Огурцов А. Н. Оценка экологического статуса водоемов на основе построения композитных индексов // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 101–107. doi: 10.17513/use.37522

## References

Alimov A. F., Finogenova N. P. Kolichestvennaya otsenka roli soobshchestv donnykh zhyvotnykh [Quantitative evaluation of role of benthic communities of animals in self-purification processes of freshwater reservoirs]. *Gidrobiol. osnovy samoochishcheniya vod* [Hydrobiol. principles of water self-purification]. Leningrad: ZIN AN SSSR, 1976. P. 5–14.

Amaro Medina D. R., Dmitriev V. V. Integral'naya otsenka ekologicheskogo blagopoluchiya rechnykh sistem [Integrated evaluation of the ecological status of river systems]. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle* [Vestnik St. Petersburg Univ. Earth Sci.]. 2019. Vol. 64(2). P. 162–184. doi: 10.21638/spbu07.2019.201

Balushkina E. V. Struktura soobshchestv donnykh zhyvotnykh i otsenka ekologicheskogo sostoyaniya r. Izhory: vliyaniye gidrofizicheskikh i gidrokhimicheskikh parametrov vody [Structure of benthic animal communities and assessment of ecological state of the Izhora river: impact of water hydrological and hydrochemical parameters]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2003. No. 1. P. 74–80.

Balushkina E. V. Izmeneniye struktury soobshchestv donnykh zhyvotnykh pri antropogennom vozdeistvii na vodnye ekosistemy (na primere malyykh rek Leningradskoi oblasti) [Changes in structure of zoobenthic communities under anthropogenic influence on aquatic ecosystems exemplified by small rivers in the Leningrad region]. *Evroaziatskii entomol. zhurn.* [Euroasian Entomol. J.]. 2003. Vol. 3(4). P. 276–282.

Chertoprud M. V. Modifikatsiya metoda Pantle – Bukka dlya otsenki zagryazneniya vodotokov po

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна р. Нева. 2010. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva/> (дата обращения: 05.02.2021).

ФР. 1.39.2015.19242. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно-питьевых, хозяйственно-бытовых сточных, очищенных сточных, сточных, талых, технологических вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб.: Спектр-М, 2015. 21 с.

Хованов Н. В. Анализ и синтез показателей в условиях информационного дефицита. СПб.: СПбГУ, 1996. 196 с.

Чертoprуд М. В. Модификация метода Пантле – Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // Водные ресурсы. 2002. Т. 29, № 3. С. 337–342.

Brousmiche D., Occelli F., Genin M., Cuny D., Deram A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecol. Indicators*. 2020. Vol. 111. 106023. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.106023

Поступила в редакцию 08.02.2021

kachestvennym pokazatelyam makrobentosa [Modification of Pantle – Buck technique for assessing water-course pollution based on macrobenthos quality characteristics]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2002. Vol. 29, no. 3. P. 337–342.

Dairova D. S., Zinchenko T. D. Metodologicheskii podkhod v otsenke ekologicheskogo sostoyaniya del'ty r. Volgi [Methodological approach to the evaluation of the ecological status of the Volga River Delta]. *Samarskaya Luka: Problemy regional'noi i global'noi ekol.* [Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecol.]. 2010. Vol. 19, no. 4. P. 16–24.

Dmitriev V. V. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov sushi (chast' II). Uyazvimost' vodnoi ekosistemy [Assessment of the ecological status of land bodies of water (part II). Vulnerability of the aquatic ecosystem]. *Ekol. Bezopasnost'. Zhizn'. Ekol. opyt grazhdanskikh, obshchestvennykh initsiativ* [Ecol. Safety. Life. Environ. experience of civil and public initiatives]. 2000. P. 284–296.

Dmitriev V. V. Integral'nye otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem v prirode i obshchestve [Integral assessments of the state of complex systems in nature and society]. *Biosfera* [Biosphere]. 2010. Vol. 2, no. 4. P. 507–520.

Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N. Podkhody k integral'noi otsenke i GIS kartografirovaniyu ustoichivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem. II. Metody integral'noi otsenki ustoichivosti nazemnykh i vodnykh geosistem [Approaches to integrated assessment

and GIS mapping of the sustainability and ecological status of geosystems. II. Methods of integrated assessment of the sustainability of terrestrial and aquatic geosystems]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik St. Petersburg Univ.]. 2013. Ser. 7, iss. 3. P. 88–103.

*Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N., Sedova S. A., Alekseeva A. A., Baizhanova K. K., Griga S. A., Kislina A. E.* Integral'naya otsenka ustoychivosti nazemnykh landshaftov: ot ball'nykh otsenok k kompozitnym indeksam na osnove territorial'nykh determinant [Integral evaluation of the stability of terrestrial landscapes: from point estimates to composite indices based on territorial determinants]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.]. 2020. No. 2. P. 45–53. doi: 10.17513/use.37330

*Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2010 g.* [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2010]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

*Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2015 g.* [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2015]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

*Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2016 g.* [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2016]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

*Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2017 g.* [A report on the ecological situation in St. Petersburg. 2017]. URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/ecorep> (accessed: 05.02.2021).

FR 1.39.2015.19242. Metodika opredeleniya toksichnosti prob prirodnykh, pit'evykh, khozyaistvennopit'evykh, khozyaistvenno-bytovykh stochnykh, ochishchennykh stochnykh, stochnykh, talykh, tekhnologicheskikh vod ekspress-metodom s primeneniem pribora serii Biotester [A technique of determination of toxicity in natural tests, drinking, industrial and drinking, the economic and household waste, cleared waste, waste, thawed, technological waters by express method with use of the Biotester device]. St. Petersburg: Spektr-M, 2015. 21 p.

*Gelashvili D. B., Zinchenko T. D., Vykhristyuk L. A., Krandashova A. A.* Integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh ob'ektov po gidrokhimicheskim i gidrobiologicheskim pokazatelyam [Integrated evaluation of the ecological status of water bodies by hydrochemical and hydrobiological indicators]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Proceed. Samara Sci. Center RAS]. 2002. Vol. 4, no. 2. P. 270–275. doi: 10.15372/SEJ20200204

*Geologiya SSSR. T. I. Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti. Geologicheskoe opisaniye* [Geology of the USSR. Vol. I. Leningrad, Pskov and Novgorod Regions. Geological description]. *Severo-Zapadnoe territorial'noe GU* [North-Western Geological Survey]. Moscow: Nedra, 1971. 504 p.

*Golubkov S. M., Balushkina E. V., Golubkov M. S.* Restoration of zoobenthic communities and water quality in the river ecosystem after a decrease in the level of organic pollution. *Contemp. Probl. Ecol.* 2020. Vol. 13, no. 2. P. 146–155. doi: 10.1134/S1995425520020031

GOST 17.1.3.07-82. Okhrana prirody. Gidrosfera. Pravila kontrolya kachestva vody vodoemov i vodotokov

[Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows]. 1982.

*Khovanov N. V.* Analiz i sintez pokazatelei v usloviakh informatsionnogo defitsita [Analysis and synthesis of indicators in the context of information scarcity]. St. Petersburg: SPbGU, 1996. 196 p.

*Klubov S. M., Tret'yakov V. Ju.* Otsenka zagryaznennosti vod rek Sankt-Peterburga s ispol'zovaniem spravochnykh materialov GUP "Vodokanal SPb" v 2018 godu [Evaluation of water pollution in the rivers of St. Petersburg using reference materials of the Vodokanal SPb State Unitary Enterprise in 2018]. *Uchenye zapiski KFU im. V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geol.* [Scientific notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geol.]. 2019. Vol. 5(71), no. 3. P. 160–174.

*Kozlova A. V., Zueva N. V., Urusova E. S.* Otsenka kachestva vod r. Izhory [Evaluation of the water quality of the river Izhora]. *Chetvertye Vinogradovskie chteniya. Gidrologiya ot poznaniya k mirovozzreniyu: sb. dokl. mezhdunar. nauch. konf. pamyati vydayushchegosya russkogo uchenogo J. B. Vinogradova. SPbGU (Sankt-Peterburg, 23–31 okt. 2020 g.)* [Fourth Vinogradov Readings. Hydrology from knowledge to worldview: Proceed. int. sci. conf. in memory of the distinguished Russian scientist Yu. B. Vinogradov. SPbSU (St. Petersburg, Oct. 23–31, 2020)]. St. Petersburg, 2020. P. 895–899.

*Litvinchuk L. F.* Osobennosti zooplanktonnogo sobshchestva verkhnego techeniya reki Izhora (bassein Baltiiskogo morya) v usloviyakh dlitel'nogo antropogennogo vozdeistviya [Specific zooplanktonic community of upper stream of the Izhora River (Baltic Sea basin) under prolonged anthropogenic impact]. *Prints. ekol.* [Principles of Ecol.]. 2019. No. 1. P. 47–62. doi: 10.15393/j1.art.2019.8522

*Mityakov E. S., Kornilov D. A.* K voprosu o vybore vesov pri nakhozhdenii integral'nykh pokazatelei ekonomicheskoi dinamiki [On the question of choosing weights when finding integral indicators of economic dynamics]. *Trudy NGTU im. R. E. Alekseeva* [Proceed. R. E. Alekseev NSTU]. 2011. No. 3(90). P. 289–299.

*Perechen' deistvuyushchikh reshenii o predostavlenii vodnogo ob'ekta v pol'zovanie* [A list of current decisions on the provision of a water body for use]. URL: [https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen\\_deistvuyushih\\_reshenii\\_o\\_predostavlenii\\_vodnuh\\_obektov\\_v\\_polzovanie.pdf](https://nature.lenobl.ru/media/uploads/userfiles/2018/07/19/perechen_deistvuyushih_reshenii_o_predostavlenii_vodnuh_obektov_v_polzovanie.pdf). 2018 (accessed: 05.02.2021).

*Prikaz Minsel'khoza Rossii ot 13 dekabrya 2016 g. № 552 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya"* [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 On approval of water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies].

PND F T 14.1:2:3:4.10-04 T 16.1:2:2:3:3.7-04. Metodika izmerenii opticheskoi plotnosti kul'tury vodorosli khlorella (*Chlorella vulgaris* Beijer) dlya opredeleniya toksichnosti pit'evykh, presnykh prirodnykh i stochnykh

vod, vodnykh vytyazhek iz gruntov, pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov proizvodstva i potrebleniya [Methods for assessing *Chlorella vulgaris* Beijer optical density to determine the toxicity of drinking water, natural freshwater and wastewater, water extracts from ground, soils, wastewater sediments, industrial and household waste]. Moscow, 2014. 36 p.

Plenkina A. K., Dmitriev V. V., Fedorova I. V., Ogurtsov A. N. Otsenka ekologicheskogo statusa vodoemov na osnove postroeniya kompozitnykh indeksov [Evaluation of the ecological status of water bodies based on the construction of composite indices]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sci.]. 2020. No. 11. P. 101–107. doi: 10.17513/use.37522

Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem [Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. Ed. V. A. Abakumova. St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov (SKIOVO) basseina r. Neva [A scheme of complex use and protection of water objects in the basin of the Neva river]. 2010. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/scheme-of-complex-use-and-protection-of-water-bodies-in-the-basin-of-the-river-neva> (accessed: 05.02.2021).

Vremennye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoi otsenke kachestva poverkhnostnykh i morskikh vod

[Temporary guidelines for integrated quality assessment of surface and sea waters]. Moscow: Goskomgidromet, 1986. 5 p.

Zasytkin P. D., Ushakova O. S., Oboldina G. A., Pavlyuk T. E. Kompleksnyi podkhod k otsenke ekologicheskogo blagopoluchiya vodnykh ekosistem [An integrated approach to assessing the ecological status of aquatic ecosystems]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: Probl., tekhnologii, upravlenie* [Water management in Russia: Problems, technologies, and management]. 2018. No. 5. P. 86–100.

Zueva N. V., Kozlova A. V., Kulichenko A. Yu. Opyt ispol'zovaniya toksikologicheskikh kharakteristik v integral'noi otsenke ekologicheskogo sostoyaniya vodnogo ob'ekta [Experience of using toxicological characteristics in the integrated evaluation of the ecological status of a water body]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 3. P. 43–56. doi: 10.17076/lm706

Brousmiche D., Occelli F., Genin M., Cuny D., Deram A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: meeting the challenge of selecting relevant variables. *Ecol. Indicators*. 2020. Vol. 111. 106023. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.106023

Received February 08, 2021

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Козлова Алина Вячеславовна

аспирант кафедры прикладной и системной экологии  
Российский государственный гидрометеорологический университет  
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007  
эл. почта: alinchkakzlv@rambler.ru

### Зуева Надежда Викторовна

доцент кафедры прикладной и системной экологии, к. г. н.  
Российский государственный гидрометеорологический университет  
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007  
эл. почта: nady.zuyeva@ya.ru

## CONTRIBUTORS:

### Kozlova, Alina

Russian State Hydrometeorological University  
79 Voronezhkaya St., 192007 St. Petersburg, Russia  
e-mail: alinchkakzlv@rambler.ru

### Zueva, Nadezhda

Russian State Hydrometeorological University  
79 Voronezhkaya St., 192007 St. Petersburg, Russia  
e-mail: nady.zuyeva@ya.ru

УДК 597.552.3:591

## ЭКОСИСТЕМА СЛАБОИЗУЧЕННОГО ОЗ. ТИКШОЗЕРА (ЗАПАДНАЯ КАРЕЛИЯ)

**О. П. Стерлигова, Я. А. Кучко, Е. С. Савосин, Н. В. Ильмаст**

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Впервые приведены результаты исследований экосистемы оз. Тикшозера. Проанализированы гидрологические, гидрохимические и гидробиологические показатели. Водоем имеет ледниковое происхождение и принадлежит к бассейну Белого моря. Водосборная площадь заселена слабо, нет крупных промышленных предприятий. Анализ химического состава водных масс показал, что воды озера относятся к гидрокарбонатному классу, к группе кальция, имеют низкую минерализацию (27 мг/л) и высокую цветность (103–115°). Активная реакция воды близка к нейтральной, pH 6,0–6,4, перманганатная окисляемость варьировала от 11,8 до 13,0 мгО<sub>2</sub>/л, значение БПК<sub>5</sub> составляло 1,8 мг/л. По содержанию минерального азота с преобладанием аммонийного и нитратного водоем можно отнести к мезотрофному типу. По уровню количественного развития зоопланктона пелагиаль озера соответствует олиготрофному типу с биомассой до 1,0 г/м<sup>3</sup> (низкий класс), литоральная зона – к переходному α-мезотрофному – β-мезотрофному типу с биомассой около 2,0 г/м<sup>3</sup> (умеренный – средний класс). По уровню развития бентосной фауны с доминированием среди хирономид представителей п/с Chironominae озеро соответствует α-мезотрофным водоемам. Хирономидный индекс (К) 1,76 указывает, что озеро ближе к умеренно загрязненным водным объектам. В озере выловлено 7 видов рыб, и по своему рыбохозяйственному статусу оно относится к высшей категории, с обитанием в нем ценных видов (сиг и ряпушка). Полученные результаты будут учитываться при составлении базы данных по пресноводным экосистемам Карелии, которая послужит основой для мониторинга в условиях усиленного антропогенного воздействия.

**Ключевые слова:** пресноводная экосистема; биологическое разнообразие; зоопланктон; зообентос; рыбное население.

### **O. P. Sterligova, Ya. A. Kuchko, E. S. Savosin, N. V. Ilmast. ECOSYSTEM OF THE POORLY STUDIED LAKE TIKSHOZERO, WESTERN KARELIA**

The results of a study of Lake Tikshozero ecosystem are reported for the first time. Its hydrological, hydrochemical and hydrobiological characteristics were analyzed. The lake is of glacial genesis and belongs to the White Sea drainage basin. Human population in the catchment area is minor, and there are no large-scale industries. Analysis of the chemical composition of water samples has shown that the water belongs to the calcium group of the hydrocarbonate class, is poorly mineralized (27 mg/l), and has a colour index of 103–115°. The water has a near-neutral active reaction, its pH is 6.0–6.4, the permanganate index varies from 11.8 to 13.0 mgO<sub>2</sub>/l, and BOD<sub>5</sub> is 1.8 mg/l. The lake is classified as mesotrophic, based on the mineral nitrogen concentration dominated by ammonium and nitrate nitrogen. The quantities of zooplankton indicate that the pelagic zone of the lake is of the oligotrophic type with biomass up to 1.0 g/m<sup>3</sup> (low class), and the littoral zone is

of the transitional  $\alpha$ -mesotrophic –  $\beta$ -mesotrophic type with biomass ca. 2.0 g/m<sup>3</sup> (moderate – medium class). The development level of the benthic fauna, in which chironomids are dominated by the subfamily Chironominae, shows that Tikshozero is an  $\alpha$  – mesotrophic lake. Judging by the chironomid index “K” of 1.76, the lake is mildly polluted. Seven fish species have been captured from the lake. Tikshozero is inhabited by valuable fish species (whitefish and vendace) and has the highest industrial-fishing status. The results of the study will be taken into account when developing the database of Karelia’s freshwater ecosystems, which will provide a background for monitoring the environments strongly affected by human activities.

**Key words:** freshwater ecosystem; biological diversity; zooplankton; zoobenthos; fish population.

## Введение

Проблема биологического разнообразия является одной из наиболее важных. Благодаря разнообразию создается структурная и функциональная организация экологических систем, обеспечивающая их стабильность во времени и устойчивость к изменениям внешней среды при разных формах антропогенного воздействия [Решетников и др., 1982; Мэггаран, 1992; Алимов, 2001; Биологические..., 2004; Дгебуадзе, Павлов, 2007 и др.]. Важную роль в сохранении разнообразия гидробионтов в пресноводных экосистемах играют слабоизученные водные экосистемы. К такой системе можно отнести оз. Тикшозеро Муезерского района западной части Республики Карелия. Населенные пункты по берегам озера отсутствуют. Ближайший поселок Ледмозеро находится в 25 км от озера, пос. Тикша – в 40 км. Исследуемый водоем на протяжении длительного времени находится практически в естественном состоянии, что в настоящее время для региона очень редко. В таких экосистемах еще сохранилось естественное разнообразие, и они являются основой для оценки состояния водных экосистем в условиях усиленного факторного воздействия.

Цель исследований – изучить состояние экосистемы оз. Тикшозера, включая гидрологические, гидрохимические, гидробиологические (зоопланктон, зообентос, рыбное население) показатели и определить его рыбохозяйственное значение.

## Материалы и методы

Исследования проводились в летний период 2020 г. на оз. Тикшозере, расположенном в западной части Республики Карелия. Все данные по состоянию экосистемы озера приводятся впервые. При сборе материала учитывали основные биотопы водоема – на литорали с гл-

бинами до 2 м (3 станции) и в пелагиали с глубинами более 2 м (6 станций).

Химический состав воды определяли по стандартным методикам [Абакумов, 1977; Морозов, 1998].

Для отбора проб зоопланктона применяли планктобатометр Руттнера объемом 2 л, при этом облавливались все слои воды (поверхность – дно) с интервалом в 1 м с трехкратной повторностью. Зоопланктон оценивали по видовому составу, численности ( $N$ ), биомассе ( $B$ ), индексу видового разнообразия Шеннона ( $H_N$ ) [Мэггаран, 1992]. Расчет степени органического загрязнения воды проводился с использованием выявленных в зоопланктоне индикаторных организмов по методу Пантле – Букк в модификации Сладечека с учетом рекомендаций по определению сапробности по зоопланктону для водоемов Карелии [Sládeček, 1973; Макрушин, 1974; Куликова, 1983]. Трофический статус водоема оценивался по «шкале трофности» [Мяэметс, 1979; Китаев, 2007]. В фауне мезозоопланктона для оценки значимости отдельных видов и таксонов более высокого ранга применен показатель частоты встречаемости как отношение количества станций, на которых отмечен таксон, к общему количеству станций. При характеристике частоты встречаемости принята следующая шкала: константные таксоны – частота встречаемости более 50 %, второстепенные – 25–50 %, случайные – менее 25 % [Баканов, 2000]. При определении организмов использовали ряд руководств [Кутикова, 1977; Определитель..., 2010].

Для сбора количественных проб макрозообентоса использовали дночерпатель ДАК-250 (модификация Экмана – Берджа с площадью захвата 1/40 м<sup>2</sup>) с последующей промывкой грунта через сито № 19 (ячейка 0,5 мм) и фиксацией 8%-м раствором формальдегида. На каждой станции брали по 1–2 дночерпателя. Камеральную обработку проб проводили в лабораторных условиях по общепринятой методике [Жадин, 1956; Баканов, 2000]. Беспозвоночных

взвешивали с точностью 0,1 мг на торсионных весах. Идентификация организмов макрозообентоса проводилась по определителям [Нарчук, 1999; Определитель..., 2016]. Результаты количественных проб макрозообентоса проанализированы при помощи пакета программ автоматизированной системы обработки гидробиологических данных [Хазов, 2000].

Для оценки степени загрязнения вод оз. Тикшозера использовали хирономидный индекс (K), предложенный Е. В. Балушкиной [1997]:

$$K = \frac{\alpha_t + 0.5\alpha_{ch}}{\alpha_o},$$

где  $\alpha_{ch}$  –  $\alpha$  Chironominae,  $\alpha_o$  –  $\alpha$  Ortocladiinae и Diamesinae,  $\alpha_t$  –  $\alpha$  Tanipodinae.

$\alpha = N + 10$ , где N – относительная численность особей всех видов данного подсемейства в процентах от общей численности особей всех хирономид.

Сбор ихтиологического материала осуществляли однотипным набором сетей (ячея от 14 до 50 мм) на разных участках и различных глубинах водоема. Латинские названия рыб приведены по книге «Рыбы заповедников России» [2010].

Математическая обработка материала выполнена при помощи программы Microsoft Excel.

## Результаты и обсуждение

Оз. Тикшозеро (64°07' с. ш. 31°46' в. д.) принадлежит к бассейну Белого моря и представляет собой узкий водоем, вытянутый с северо-запада на юго-восток (рис. 1). Площадь водного зеркала составляет 20,6 км<sup>2</sup>, наибольшая длина – 10,6 км, ширина – 2,6 км, и оно относится к малым водоемам [Китаев, 2007]. Водоем проточный, в него впадают реки Кайдодеги, Шильва и другие, вытекает р. Тикшозерка. Показатель условного водообмена равен 0,7, т. е. водные массы озера заменяются водой с водообора один раз в 1,5 года (табл. 1).

По химическому составу воды озера относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, имеют низкую минерализацию (27 мг/л) и высокую цветность – 110° (103–115°). Величина pH варьировала в пределах 5,9–6,4, перманганатная окисляемость воды колебалась от 11,8 до 13,0 мгО<sub>2</sub>/л, значение БПК<sub>5</sub> – 1,8 мг/л. По содержанию минерального азота преобладали аммонийный и нитратный, что характерно для мезотрофных водоемов [Китаев, 2007].

Из наиболее многочисленных групп гидробионтов важное экологическое и хозяйственное значение принадлежит сообществу зоопланктона и зообентоса. Динамика таксо-

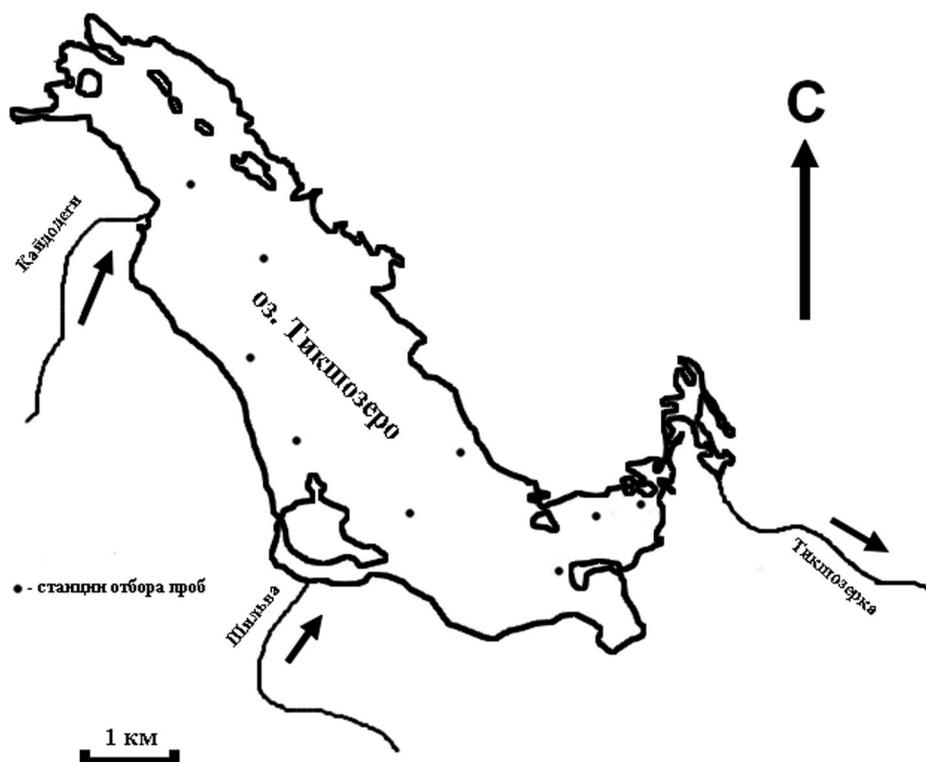


Рис. 1. Карта-схема оз. Тикшозеро

Fig. 1. Schematic map of Lake Tikshozero

Таблица 1. Основные гидрологические показатели оз. Тикшозеро\*

Table 1. Main hydrological indices of Lake Tikshozero\*

Показатель Index	Величина Value
Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	151
Площадь водосбора, км <sup>2</sup> Drainage area, km <sup>2</sup>	322
Площадь озера, км <sup>2</sup> Lake area, km <sup>2</sup>	20,6
Наибольшая длина озера, км Maximum length of the lake, km	10,6
Наибольшая ширина, км Maximum width of the lake, km	2,6
Средняя глубина, м Average depth, m	6,0
Максимальная глубина, м Maximum depth, m	13,0
Прозрачность, м Transparency, m	2,0
Условный водообмен, период, год Conditional water exchange, period, year	0,7/1,5

Примечание. \* По: [Григорьев, Грицевская, 1959] и нашим данным.

Note. \*After: [Grigoriev, Gritsevskaya, 1959] and our data.

номической структуры и количественных показателей, как выраженный отклик на изменение условий обитания, служит важным показателем качества воды и процессов эвтрофирования. Видовой состав и разнообразие биоценозов, соотношение основных таксономических групп, структура доминирующих видов широко используются для биоиндикации и мониторинга водных экосистем [Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990; Андроникова, 1996; Баканов, 2000].

**Зоопланктон.** Короткий жизненный цикл беспозвоночных зоопланктона позволяет даже при проведении ограниченных во времени наблюдений не только определить современное состояние водоемов, но и оценить возможные изменения [Gliwicz, 2003]. В рамках данного исследования в озере отмечено 36 видов планктонных ракообразных и коловраток, из них коловраток Rotifera – 9, ветвистоусых ракообразных Cladocera – 19 и веслоногих ракообразных Copepoda – 8 (табл. 2).

Анализ видового состава показал, что преобладающее число встреченных коловраток и ракообразных относится к видам с широким географическим распространением и характерным для умеренных широт. В зоогеографическом отношении наиболее распространены космополитные (41 %) и голарктические (32 %) виды. К числу доминирующих видов коловраток Rotifera (одной из наиболее чувствительных к эвтрофированию групп зоопланктона) отно-

сятся *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina* и *Conochilus unicornis*, которые являются типичными представителями северного ротаторного планктонного комплекса, свойственного водоемам Карело-Кольского региона. К видам – индикаторам повышенной трофности из числа этой группы можно отнести *Polyarthra luminosa*.

Видовое разнообразие зоопланктона достигается главным образом за счет ветвистоусых ракообразных, что характерно для больших озер Карелии. Основными формами летнего зоопланктона пелагиали являются эвритопные виды – *Daphnia cristata*, *Mesocyclops leuckarti*, *Limnospira frontosa*, *Chydorus sphaericus*, а также комплекс видов рода *Bosmina*: *B. coregoni*, *B. longirostris*, *B. kessleri*. Наличие высшей водной растительности (погруженные и плавающие макрофиты) способствует интенсивному развитию зарослевого литорального комплекса, который за счет выноса ветровыми и волновыми течениями обогащает зону пелагиали. Часто это организмы, нуждающиеся в субстрате для периодического прикрепления: *Sida crystallina*, *Scapholeberis mucronata*, *Ceriodaphnia quadrangula*, а также ряд представителей семейства Chydoridae и хищные циклопы *Macrocyclus albidus*, *Megacyclus viridis*. Соотношение и количественные показатели групп зоопланктона озера приводятся на рис. 2, 3 и в табл. 3.

Основу биомассы зоопланктона в пелагиали создают ветвистоусые ракообразные Cladocera – 54,7 %, главным образом представители

Таблица 2. Видовой состав и встречаемость видов зоопланктона оз. Тикшозеро

Table 2. Species composition and occurrence of zooplankton in Lake Tikshozero

Таксон Taxon	Литораль Littoral	Пелагиаль Pelagial
<b>Rotifera</b>		
<b>Отряд / Order Saepthiramida</b>		
<i>S. pectinata</i> Ehrenberg	++	–
<i>Polyarthra luminosa</i> Kutikova	++	–
<i>P. dolychoptera</i> Idelson	–	+
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	++	++
<b>Отряд / Order Saltiramida</b>		
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	++	++
<b>Отряд / Order Transversiramida</b>		
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	++	–
<i>Keratella cochlearis</i>	–	+
<i>Kellicottia longispina</i>	+	+++
<b>Отряд / Order Protoramida</b>		
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	+	++
<b>Crustacea</b>		
<b>Отряд / Order Calaniformes</b>		
<i>Heterocope appendiculata</i> (Sars)	–	++
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars)	+	++
<b>Отряд / Order Cyclopiformes</b>		
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)	+	–
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)	*	–
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars)	+++	+++
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+++	+++
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	*	–
<i>Cyclops strenuous strenuous</i> Fisher	++	++
<b>Класс Branchiopoda</b>		
<b>Надотряд Cladocera</b>		
<b>Отряд / Order Stenopoda</b>		
<i>Syda crystallina</i> (O. F. Muller, 1776)	+++	–
<i>Limnospida frontosa</i> Sars, 1862	–	++
<b>Отряд / Order Anomopoda</b>		
<i>Daphnia cristata</i> Sars	+	+++
<i>D. longispina</i> (O. F. Muller)	–	++
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O. F. Muller)	+++	++
<i>Ophryoxus gracilis</i> Sars	+	–
<i>Alona quadrangularis</i> (O. F. Muller)	+	–
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	+	–
<i>Alonopsis elongates</i> (Sars)	+	–
<i>Scapholeberis mucronata</i> (O. F. Muller)	*	*
<i>Pleuroxus truncatus</i> (O. F. Muller)	*	–
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Muller)	+	+
<i>Eurycercus lamellatus</i> (O. F. Muller)	*	–
<i>Bosmina (Bosmina) longirostris</i> (O. F. Muller)	+++	+++

Окончание табл. 2  
Table 2 (continued)

Таксон Taxon	Литораль Littoral	Пелагиаль Pelagial
<i>B. (Eubosmina) coregoni</i> Baird	+	+++
<i>B. (Eubosmina) cf. kessleri</i> Uljanin	-	+
<b>Отряд / Order Harporoda</b>		
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	+
<b>Отряд / Order Onychopoda</b>		
<i>Bythotrephes brevis</i> Leydig	-	+
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linne)	+	-
Суммарное число видов	28	22

Примечание. (+++) – вид широко распространен (> 50 % проб); (++) – вид обычен (25–50 % проб); (+) – вид редок (< 25 % проб); (\*) – единичные находки.

Note. (+++) – the species is widespread (> 50 % of samples); (++) – common species (25–50 % of samples); (+) – rare species (< 25 % of samples); (\*) – single finds.

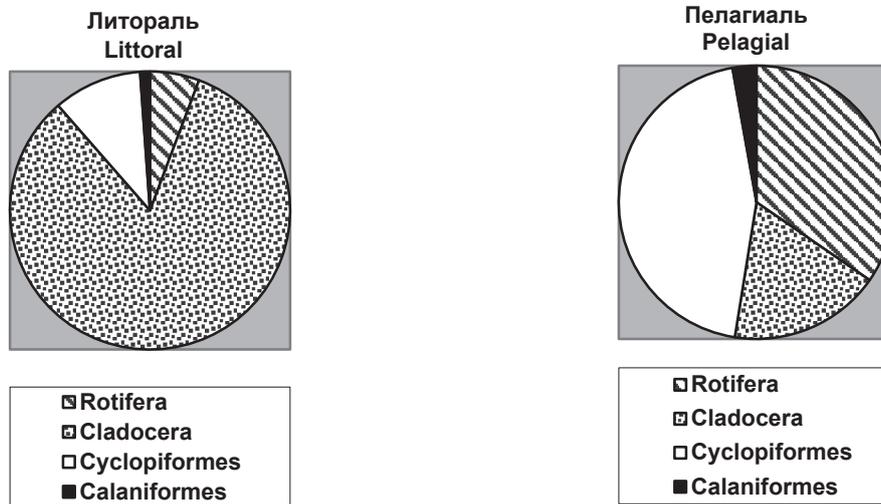


Рис. 2. Соотношение групп зоопланктона оз. Тикшозеро по численности, тыс. экз./м<sup>3</sup>  
Fig. 2. The ratio of zooplankton groups in Lake Tikshozero by abundance, thousand ind./m<sup>3</sup>

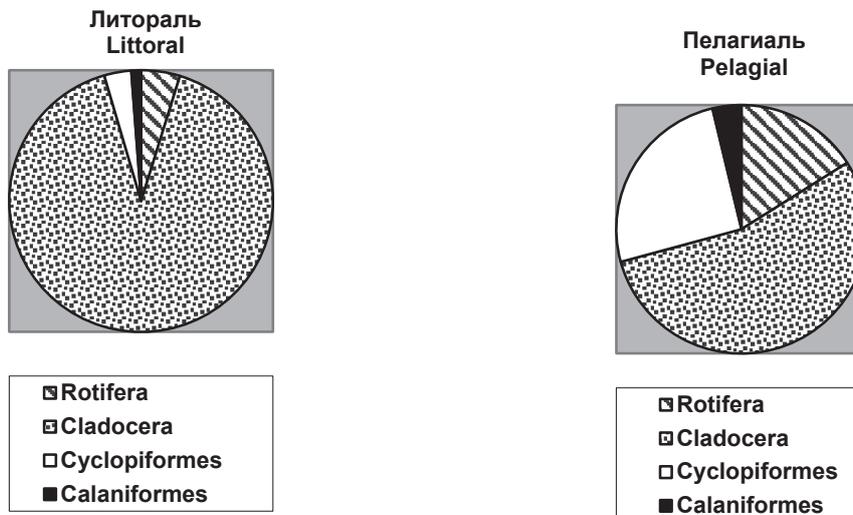


Рис. 3. Соотношение групп зоопланктона оз. Тикшозеро по биомассе, г/м<sup>3</sup>  
Fig. 3. The ratio of zooplankton groups in Lake Tikshozero by biomass, g/m<sup>3</sup>

Таблица 3. Количественные показатели зоопланктона оз. Тикшозеро

Table 3. Quantitative indicators of the zooplankton of Lake Tikshozero

Таксон Taxon	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> Abundance, thousand ind./m <sup>3</sup>		% от общей численности % of the total abundance		Биомасса, г/м <sup>3</sup> Biomass, g/m <sup>3</sup>		% от общей биомассы % of the total biomass	
	Л L	П P	Л L	П P	Л L	П P	Л L	П P
Rotifera	3,0	6,2	5,7	34,6	0,095	0,086	4,7	16,0
Cladocera	43,7	3,2	82,9	17,9	1,819	0,294	90,7	54,7
Cyclopiformes	5,4	8,0	10,3	44,7	0,066	0,137	3,3	25,5
Calaniformes	0,6	0,5	1,1	2,8	0,020	0,020	1,3	3,8
Всего Total	52,7	17,9	100	100	2,000	0,537	100	100

Примечание. Л – литораль; П – пелагиаль.

Note. L – littoral; P – pelagial.

Таблица 4. Структурные показатели зоопланктона оз. Тикшозеро

Table 4. Structural indicators of zooplankton in Lake Tikshozero

Показатель Indicator	Литораль Littoral	Пелагиаль Pelagial
Общее число видов The total number of species	27	22
Число видов в пробе The number of species in the sample	13,5 ± 2,9	11,8 ± 1,3
Индекс Шеннона Shannon Index	1,65 ± 0,33	1,98 ± 0,35
Средняя численность (min – max), тыс. экз./м <sup>3</sup> Average abundance (min – max), thousand ind./m <sup>3</sup>	52,7 (7,05–126,75)	17,9 (11,41–27,50)
Средняя биомасса (min – max), г/м <sup>3</sup> Average biomass (min – max), g/m <sup>3</sup>	2,00 (0,292–4,882)	0,54 (0,162–0,972)
Индекс сапробности Пантле – Букк Pantle – Buck saprobity index	1,80 ± 0,22	1,70 ± 0,14
Доминирующий комплекс Dominant complex	<i>B. longirostris</i> <i>S. crystallina</i> <i>P. pediculus</i> <i>C. quadrangula</i>	<i>D. cristata</i> <i>B. coregoni</i> <i>M. leuckarti</i> <i>M. oithonoides</i>
Типизация водоема Reservoir typification	β-мезотрофный – α-эвтрофный β-мезосапробный β-mesotrophic – α-eutrophic β-mesosaprobic	β-олиготрофный β-мезосапробный β-oligotrophic β-mesosaprobic

родов *Bosmina* и *Daphnia*. Субдоминирующее положение занимают циклопиды (*Mesocyclops*) и коловратки (*Asplanchna*) – 25,5 и 16,0 % соответственно. Каляниды (*Eudiaptomus gracilis*, *Heteroscope appendiculata*) играют незначительную роль в образовании биомассы зоопланктона, их средний удельный вес составляет 3,8 %. В литоральной зоне на глубинах до 2 м количественные показатели зоопланктона выше, чем в открытом озере, в 3,7 раза за счет массового развития крупных фитофильных видов (*Ceriodaphnia quadrangula*, *Sida crystallina*, *Polyphemus pediculus*). Доля ветвистоусых ракообразных в общей биомассе возрастает до 90,7 %, в среднем составляя 2,0 г/м<sup>3</sup>.

Ряд структурных показателей сообщества зоопланктона, используемых в качестве индикаторов, приведен в табл. 4.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что литоральная зона Тикшозера характеризуется более высоким трофическим статусом по сравнению с пелагиалью. Массовое развитие кладоцер-фильтраторов в литорали указывает на повышенное поступление в водоем аллохтонного органического вещества, что приводит к укреплению трофической базы зоопланктона.

По величине индекса сапробности по методу Пантле – Букк озеро соответствует β-мезосапробному типу (умеренно загрязнен-

ные воды), по величине индекса видового разнообразия – мезоэвтрофному [Андроникова, 1996; Gliwicz, 2003; Китаев, 2007]. По уровню количественного развития зоопланктона пелагиаль озера ближе к олиготрофному типу с биомассой до 1,0 г/м<sup>3</sup> (низкий класс), литоральная зона – к переходному α-мезотрофному – β-мезотрофному типу с биомассой 2,0 г/м<sup>3</sup> (умеренный – средний класс).

**Макрозообентос.** Организмы донной фауны характеризуются широким экологическим спектром, достаточно крупными размерами, приуроченностью к конкретному местообитанию, значительной продолжительностью жизни, позволяющей им аккумулировать загрязняющие вещества [Баканов, 2000; Яковлев, 2005].

Основные таксоны представителей донной фауны, отмеченные по результатам наших исследований, представлены в табл. 5.

Доминирующий комплекс зообентоса формируют Chironomidae (*Chironomus* sp., *Procladius* sp., *Tanytarsus* sp., *Cladopelma lateralis*), Bivalvia и Oligochaeta.

Величина средней биомассы макрозообентоса в исследуемый период составляла 1,8 г/м<sup>2</sup> при численности 500 экз./м<sup>2</sup> (табл. 6). Основу биомассы формировали личинки хирономид – 0,93 г/м<sup>2</sup> при численности 238 экз./м<sup>2</sup>. Также преобладающим видом донной фауны являются двустворчатые моллюски, доля которых равна 50 % всей биомассы.

Количественные показатели биомассы зообентоса изменялись от 100 экз./м<sup>2</sup> и 0,052 г/м<sup>2</sup> в зоне максимальных глубин и до 1120 экз./м<sup>2</sup> и 1,8 г/м<sup>2</sup> в прибрежных участках.

По преобладанию среди хирономид представителей п/с Chironominae оз. Тикшозеро принадлежит к мезотрофному типу. Хирономидный индекс (K) составил 1,76, что позволяет отнести озеро к умеренно загрязненным водным объектам.

Таблица 5. Список видов макрозообентоса в оз. Тикшозеро

Table 5. List of macrozoobenthos species in Lake Tikshozero

Таксон Taxon
Класс / Class Oligochaeta
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen
Класс / Class Nematoda
Класс / Class Insecta
Отряд / Order Diptera
Семейство / Family Chironomidae
<i>Tanytarsus</i> sp.
<i>Procladius</i> sp.
<i>Paratanytarsus</i> sp.
<i>Chironomus</i> sp.
<i>Cryptochironomus obreptans</i> Walker
<i>Microtendipes pedellus</i> DeGeer
<i>Zalutschia zalutschicola</i> Lipina
<i>Polypedilum nubeculosum</i> Meigen
<i>P. pedestre</i> Meigen
<i>Sergentia coracina</i> Zetterstedt
<i>Cladopelma lateralis</i> Goetghebuer
<i>Monodiamesa bathyphila</i> Kieffer
<i>Cladotanytarsus</i> sp.
<i>Chaetocladius pige</i> Goetghebuer
Класс / Class Bivalvia
<i>Pisidium</i> sp.

В водоеме отмечено 7 видов рыб, принадлежащих к 5 семействам (табл. 7). Состав рыбного населения является типичным для малых водоемов Карелии [Первозванский, 1986; Стерлигова и др., 2016; Ильмаст и др., 2017].

Таблица 6. Средняя численность и биомасса макрозообентоса Тикшозера

Table 6. Average abundance and biomass of macrozoobenthos of Lake Tikshozero

Таксон Taxon	N, экз./м <sup>2</sup> N, ind./m <sup>2</sup>	N, %	B, г/м <sup>2</sup> B, g/m <sup>2</sup>	B, %	F, %
Chironomidae	238	47,50	0,93	51,38	100,0
Oligochaeta	110	22,04	0,04	2,21	28,5
Bivalvia	120	24,05	0,82	45,86	71,4
Nematoda	32	6,41	0,01	0,55	71,4
Всего Total	500	100	1,80	100	–

Примечание. N – средняя численность, N, % – относительная численность, B – средняя биомасса, B, % – относительная биомасса, F, % – встречаемость таксонов в пробах.

Note. N – average abundance, N, % – relative abundance, B – average biomass, B, % – relative biomass, F, % – occurrence of taxa in samples.

Таблица 7. Состав рыбного населения оз. Тикшозеро  
Table 7. Composition of fish population of Lake Tikshozero

Семейство и вид Family and species
<b>Coregonidae</b>
<i>Coregonus albula</i> (L.) – европейская ряпушка / vendace
<i>C. lavaretus</i> (L.) – сиг / whitefish
<b>Esocidae</b>
<i>Esox lucius</i> L. – обыкновенная щука / northern pike
<b>Cyprinidae</b>
<i>Rutilus rutilus</i> (L.) – плотва / roach
<b>Lotidae</b>
<i>Lota lota</i> (L.) – налим / burbot
<b>Percidae</b>
<i>Perca fluviatilis</i> L. – речной окунь / common perch
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.) – ерш / ruffe

## Заключение

Анализ результатов выполненных исследований показал, что по гидрологическим показателям (площадь водоема, средняя глубина, прозрачность, объем водной массы и т. д.) оз. Тикшозеро относится к малым водоемам. По химическому составу вода озера соответствует гидрокарбонатному классу, группе кальция, характеризуется низкой минерализацией (27 мг/л) и высокой цветностью 110° (103–115°).

По уровню количественного развития зоопланктона пелагиаль Тикшозера ближе к олиготрофному типу с биомассой до 1,0 г/м<sup>3</sup> (низкий класс), литоральная зона – к переходному α-мезотрофному – β-мезотрофному типу с биомассой около 2,0 г/м<sup>3</sup> (умеренный – средний класс). По уровню развития бентосной фауны с преобладанием среди хирономид представителей п/с Chironominae по шкале трофности озеро соответствует α-мезотрофным водоемам. Хирономидный индекс (К) составил 1,76, что соответствует умеренно загрязненным водным объектам.

В озере отмечено 7 видов рыб, и по своему рыбохозяйственному статусу оно относится к водоемам высшей категории, так как в нем обитают такие ценные виды рыб, как сиг и ряпушка. В настоящее время водоем используется местным населением района для любительского рыболовства, рекреации и является перспективным для развития рыбоводства (товарное выращивание радужной форели). Отсутствие промышленных, хозяйственно-бытовых стоков и малочисленность населения района позволяет рассматривать водоем в качестве удобного контрольного объекта при монито-

ринговых исследованиях и для оценки водоемов в условиях разнофакторного воздействия.

Авторы благодарят сотрудников лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных ИБ КарНЦ РАН Д. С. Савосина и Н. П. Милянчука за помощь при сборе полевого материала.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт биологии КарНЦ РАН, № 0218-2019-0081).

## Литература

Абакумов В. А. Контроль качества вод по гидрологическим показателям // Научные основы в системе контроля качества поверхностных вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 93–99.

Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2001. 147 с.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Балушкина Е. В. Применение интегрального показателя для оценки качества вод по структурным характеристикам донных сообществ // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 266–292.

Баканов А. И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов (обзор) // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 68–82.

Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / Ред. А. Ф. Алимов, Н. Г. Богущая, М. И. Орлова. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 436 с.

Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер КАССР. М.; Л.: АН СССР, 1959. 240 с.

Дгебуадзе Ю. Ю., Павлов Д. С. Вчера, сегодня и завтра инвазийных чужеродных видов в Российской Федерации // Труды ГосНИОРХ. Вып. 337. СПб.; М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. С. 71–82.

Жадин В. И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л.: Наука, 1956. Т. 4, ч. 1. С. 17–41.

Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А. Рыбохозяйственное использование малых водоемов Карелии // Озера Евразии: проблемы и пути их решения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 506–510.

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

Куликова Т. П. Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1983. 6 с.

Кутикова Л. А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 510 с.

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

Морозов А. К. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 122 с.

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие. М.: Мир, 1992. 184 с.

Мязметс А. Х. Качественный состав пелагического зоопланктона как показатель трофности озера // Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии. Рига: РГУ, 1979. Т. 1. С. 12–15.

Нарчук Э. П. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб., 1999. С. 210–296.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зоопланктон. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. 495 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Зообентос. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. Т. 2. 457 с.

Первозванский В. Я. Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.

Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П., Титова В. Ф., Бушман Л. Г., Иешко Е. П., Макарова Н. П., Малахова Р. П., Помазовская И. В.,

Смирнов Ю. А. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.

Рыбы в заповедниках России / Ред. Ю. С. Решетников. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. 627 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.

Хазов А. Р. Анализ гидробиологических данных и его программная реализация. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 154 с.

Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х. Р. Умирающие озера. Л.: Наука, 1990. 279 с.

Яковлев В. А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты: КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с.; ч. 2. 145 с.

Gliwicz Z. M. Zooplankton // Limnology and limnetic ecology. Malden, Oxford: Blackwell Publishing, 2003. Vol. 1. P. 461–516.

Sládeček V. System of water quality from the biological point of view // Arch. F. Hydrobiol. Ergebnisseder Limnologie. 1973. Bd. 7. 218 p.

Поступила в редакцию 18.03.2021

## References

Abakumov V. A. Kontrol' kachestva vod po gidrologicheskim pokazatelyam [Water quality control by hydrological indicators]. *Nauch. osnovy v sisteme kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod* [Sci. bases in the system of surface water quality control]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. P. 93–99.

Alimov A. F. Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem [Elements of the theory of aquatic ecosystems functioning]. St. Petersburg: Nauka, 2001. 147 p.

Andronikova I. N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov [Structural-functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]. St. Petersburg: Nauka, 1996. 189 p.

Balushkina E. V. Primenenie integral'nogo pokazatelya dlya otsenki kachestva vod po strukturnym kharakteristikam donnykh soobshchestv [The use of an integral indicator for assessing water quality by the structural characteristics of bottom communities]. *Reaktsiya ozernykh ekosistem na izmeneniye bioticheskikh i abioticheskikh uslovii* [Reaction of lake ecosystems to changes in biotic and abiotic conditions]. St. Petersburg: ZIN RAN, 1997. P. 266–292.

Bakanov A. I. Ispol'zovaniye zoobentosa dlya monitoringa presnovodnykh vodoemov (obzor) [Use of zoobenthos for monitoring freshwater reservoirs (a review)]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2000. No. 1. P. 68–82.

Biologicheskie invazii v vodnykh i nazemnykh ekosistemakh [Biological invasions in aquatic and terrestrial ecosystems]. Eds. A. F. Alimov, N. G. Bogutskaya, M. I. Orlova. Moscow: KMK, 2004. 436 p.

Dgebuadze Yu. Yu., Pavlov D. S. Vchera, segodnya i zavtra invaziynykh chuzherodnykh vidov v Rossiiskoi Fe-

deratsii [Yesterday, today and tomorrow of invasive alien species in the Russian Federation]. *Trudy GosNIORKh* [Proceed. National Research Institute of Lake and River Fisheries]. Iss. 337. St. Petersburg; Moscow: KMK, 2007. P. 71–82.

Grigor'yev S. V., Gritsevskaya G. L. Katalog ozer KASSR [A catalogue of lakes of the KASSR]. Moscow; Leningrad: AN SSSR, 1959. 240 p.

Il'mast N. V., Sterligova O. P., Kuchko Ya. A. Rybno-khozyaistvennoe ispol'zovanie malykh vodoemov Karelii [Fishery use of small water bodies in Karelia]. *Ozera Evrazii: probl. i puti ikh resheniya* [Lakes of Eurasia: Problems and solutions]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 506–510.

Khazov A. R. Analiz gidrobiologicheskikh dannykh i ego programmaya realizatsiya [Analysis of hydrobiological data and its software implementation]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. 154 p.

Khenderson-Sellers B., Marklend Kh. R. Umirayushchie ozera [Dying lakes]. Leningrad: Nauka, 1990. 279 p.

Kitayev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p.

Kulikova T. P. Rekomendatsii po opredeleniyu saprobnosti s uchetom biologicheskikh osobennosti planktonnykh organizmov Karelii [Recommendations for determining saprobity taking into account the biological characteristics of planktonic organisms in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1983. 6 p.

Kutikova L. A. Opredelitel' presnovodnykh bespozvochnykh Evropeiskoi chasti SSSR [A key to freshwater invertebrates of the European part of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 510 p.

Makrushin A. V. Biologicheskii analiz kachestva vod [Biological analysis of water quality]. Leningrad: Nauka, 1974. 60 p.

Morozov A. K. Khimicheskii sostav vody [Chemical composition of water]. *Sovr. sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya* [Current state of water bodies in the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. 122 p.

Megarran E. Ekologicheskoe raznoobrazie [Ecological diversity]. Moscow: Mir, 1992. 184 p.

Myamets A. Kh. Kachestvennyi sostav pelagicheskogo zooplanktona kak pokazatel' trofnosti ozera [The qualitative composition of pelagic zooplankton as an indicator of the trophicity of the lake]. *Izuchenie i osvoenie vodoemov Pribaltiki i Belorussii* [Study and development of water bodies in the Baltic and Belarus]. Riga: RGU, 1979. Vol. 1. P. 12–15.

Narchuk E. P. Opredelitel' bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii [A key to invertebrates of Russia and adjacent territories]. St. Petersburg, 1999. P. 210–296.

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. Zooplankton [A key to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in European Russia. Zooplankton]. Moscow: KMK, 2010. Vol. 1. 495 p.

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. Zoobentos [A key to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in European Russia. Zoobenthos]. Moscow: KMK, 2016. Vol. 2. 457 p.

Pervozvanskii V. Ya. Ryby vodoemov raiona Kostomukshskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya (ekologiya, vosproizvodstvo, ispol'zovanie) [Fish of water bodies of the Kostomuksha iron ore deposit area (ecology, reproduction, and use)]. Petrozavodsk: Karelia, 1986. 216 p.

Reshetnikov Yu. S., Popova O. A., Sterligova O. P., Titova V. F., Bushman L. G., Ieshko E. P., Makarova N. P., Malakhova R. P., Pomazovskaya I. V., Smirnov Yu. A. Izmenenie struktury rybnogo naseleniya evtrofiruemogo vodoema [Changes in the structure of the fish population of the eutrophied reservoir]. Moscow: Nauka, 1982. 248 p.

Ryby v zapovednikakh Rossii [Fish in the reserves of Russia]. Ed. Yu. S. Reshetnikov. Moscow: KMK, 2010. Vol. 1. 627 p.

Sterligova O. P., Il'mast N. V., Savosin D. S. Krugloroty i ryby presnykh vod Karelii [Cyclostomata and fish of fresh waters in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2016. 224 p.

Yakovlev V. A. Presnovodnyi zoobentos Severnoi Fennoskandii (raznoobraziye, struktura i antropogennaya dinamika) [Freshwater zoobenthos of Northern Fennoscandia (diversity, structure, and anthropogenic dynamics)]. Apatity: KRC RAS, 2005. Part. 1. 161 p.; Part. 2. 145 p.

Zhadin V. I. Metodika izucheniya donnoi fauny i ekologii donnykh bespozvonochnykh [Methods for studying bottom fauna and ecology of bottom invertebrates]. *Zhizn' presnykh vod SSSR* [Life of fresh waters of the USSR]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1956. Vol. 4, Part 1. P. 17–41.

Gliwicz Z. M. Zooplankton. *Limnology and limnetic ecology*. Malden, Oxford: Blackwell Publ., 2003. Vol. 1. P. 461–516.

Sládeček V. System of water quality from the biological point of view. *Arch. F. Hydrobiol. Ergebnisseder Limnologie*. 1973. Bd. 7. 218 p.

Received March 18, 2021

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Стерлигова Ольга Павловна

главный научный сотрудник, д. б. н.  
Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: o.sterligova@yandex.ru

### Кучко Ярослав Александрович

старший научный сотрудник, к. б. н.  
Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: y-kuchko@mail.ru

### Савосин Евгений Сергеевич

научный сотрудник, к. б. н.  
Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: szhenya@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### Sterligova, Olga

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: o.sterligova@yandex.ru

### Kuchko, Yaroslav

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 18591 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: y-kuchko@mail.ru

### Savosin, Evgeny

Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 18591 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: szhenya@mail.ru

**Ильмаст Николай Викторович,**  
заведующий лабораторией, д. б. н.  
Институт биологии КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)

**Ilmast, Nikolai**  
Institute of Biology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: [ilmast@mail.ru](mailto:ilmast@mail.ru)

УДК 574.583

## СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА ВОЖЕ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Н. В. Думнич, Е. В. Лобуничева, А. И. Литвин, М. Я. Борисов**

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,  
Вологодский филиал, Россия*

Проанализированы сезонная и многолетняя динамика зоопланктона озера Воже Вологодской области за весь период исследований (1972–2019 гг.). В сообществе зарегистрировано 158 видов (Rotifera – 70, Cladocera – 64, Copepoda – 24). Среди зоопланктеров отсутствуют инвазионные виды. В связи с мелководностью водоема широко представлены фитофильные и прибрежные организмы. Состав доминирующего комплекса зоопланктона относительно стабилен в течение всего периода исследований. В последние десятилетия отмечено выпадение из числа доминантов пелагических видов (*Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Limnospira frontosa*) и увеличение доли коловраток. Сезонная динамика зоопланктона озера стабильна и характеризуется двумя пиками численности и биомассы в мае и июле. Обилие зоопланктона в начале вегетационного сезона зависит от термических условий. Численность и биомасса ветвистоусых ракообразных увеличивается к концу вегетационного сезона, а циклопов – снижается. Доля коловраток колеблется в зависимости от плотности крупной *Asplanchna priodonta* и мелких представителей семейства Brachionidae. Многолетние изменения зоопланктона озера связаны со спецификой антропогенного влияния. Отмена неводного лова вызвала расширение зарослевой зоны на отдельных участках озера. Увеличение численности рыб малых размеров усилило выедание крупных и многочисленных зоопланктеров. Это способствовало увеличению обилия зоопланктона в зарослях, в частности, в мелководных заливах восточной части озера и упрощению структуры доминирующего комплекса. Снижение биогенной нагрузки на водосбор озера определило уменьшение уровня развития зоопланктона в 1990-е и 2000-е гг. В последнее десятилетие наблюдается увеличение средних численности и биомассы зоопланктона.

**Ключевые слова:** зоопланктон; численность; биомасса; многолетняя динамика; сезонная динамика; озеро Воже; Вологодская область.

**N. V. Dumnich, E. V. Lobunicheva, A. I. Litvin, M. Ya. Borisov.  
ZOOPLANKTON STRUCTURE AND DYNAMICS IN LAKE VOZHE (VOLOGDA  
REGION)**

The authors analyze seasonal and long-term dynamics of zooplankton in Lake Vozhe (Vologda Region) over the entire period of observations (1972–2019). The community comprises 158 species (Rotifera – 70, Cladocera – 64, Copepoda – 24). There are no invasive species among zooplankters. The lake being shallow, phytophilous and littoral organisms are widely represented. The composition of the dominant zooplankton complex has been relatively stable over the years. Recent decades have seen a loss of pelagic species (*Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Limnospira frontosa*) and an increase

in the proportion of rotifers. The seasonal dynamics of the lake's zooplankton is stable, characterized by two peaks of abundance and biomass in May and July. Zooplankton numbers at the beginning of the growing season depend on thermal conditions. The abundance and biomass of cladocerans increases towards the end of the growing season, while the abundance of cyclops decreases. The proportion of rotifers changes depending on the density of large *Asplanchna priodonta* and small members of the Brachionidae family. Long-term changes in zooplankton in the lake are associated with the human impact. The termination of seining caused an expansion of vegetation areas in some parts of the lake. The increase in small fish numbers results in greater consumption of large and abundant zooplankters. As a consequence, zooplankton abundance in vegetation beds increased, in particular, in shallow bays in the eastern part of the lake, and the structure of the dominant complex became simpler. A decrease in the nutrient load on the lake catchment led to a decrease in zooplankton levels in the 1990s and 2000s. In the past decade, the average abundance and biomass of zooplankton have grown.

**Key words:** zooplankton; abundance; biomass; long-term changes; seasonal dynamics; Lake Vozhe; Vologda Region.

## Введение

Современное состояние водных экосистем – это результат длительной истории их формирования при совместном действии целого комплекса факторов. За время своего существования водные сообщества, в частности зоопланктон, претерпевают множественные структурно-функциональные изменения [Андроникова, 1996]. При этом одни изменения зоопланктона сравнительно устойчивы, так как отражают сезонную динамику сообществ, а другие (многолетние), напротив, изменчивы и определяются как естественными причинами, так и действием внешних факторов [Сярки, 2005]. Сезонная динамика зоопланктона зависит от температуры воды, пищевых условий [Крючкова, 1989; Gulati, DeMott, 1997; Hart, 2004; Хаберман и др., 2012] и влияния хищников [Гиляров, 1987; Gliwicz et al., 2004; Rejas et al., 2005; Heald et al., 2017]. Многолетние изменения зоопланктона водоемов определяются климатом, в том числе его циклическими колебаниями [Лазарева, 2010], антропогенным влиянием и инвазией видов [Крючкова, Деренговская, 2000; Макарецца, 2003; Pothoven, 2014].

Значительная изменчивость планктонных сообществ определяет важную роль анализа многолетних данных о структуре и уровне развития гидробионтов [Андроникова, 1980]. Фрагментарные (кадастровые) исследования часто не позволяют объективно оценить особенности зоопланктона. Длительные наблюдения за состоянием зоопланктона ведутся преимущественно на крупных водоемах [Сярки, 2008; Лазарева, 2010; Хаберман и др., 2012; Родионова, 2013 и др.]. Мониторинговые исследования зоопланктона ведутся на озерах

Красное [Макарецца, 2003], Глубокое [Коровчинский и др., 2017], Плещеево [Столбунова, 2006; Жданова и др., 2019], Неро [Лазарева, Смирнова, 2008].

На территории Вологодской области мониторинговыми гидробиологическими исследованиями охвачены самые крупные рыбохозяйственные водоемы. Наиболее длительные и регулярные наблюдения ведутся на озерах Белое, Кубенское и Воже [Думнич, Болотова, 2000; Думнич, Лобуничева, 2016].

Целью данной работы был анализ сезонных и многолетних изменений структуры и обилия зоопланктона озера Воже с 1972 по 2019 г.

## Материалы и методы

Озеро Воже расположено на севере Вологодской области, не связано с другими водоемами искусственными водными путями и относится к бассейну Белого моря, с которым связано через реку Онега, озеро Лача и реку Свидь. В настоящее время это единственный крупный водоем Вологодской области, который не зарегулирован гидротехническими сооружениями и имеет естественный гидрологический режим. Средняя площадь озера Воже 418 км<sup>2</sup>, однако она может значительно меняться в зависимости от сезона и водности года. Многолетняя амплитуда изменения уровня воды озера может достигать 2 м, при этом средняя глубина колеблется от 0,5 до 1,8 м [Татаринова, 1979]. Водоем характеризуется изрезанной береговой линией и интенсивным развитием макрофитов. В наибольшей степени зарастает южная часть озера, в особенности заливы Лохта, Варешная Лохта, Пуглино, а также заливы-озера Мольское и Еломское. Озеро Воже традиционно используется для промышленно-

го лова рыбы, однако в сравнении с другими крупными рыбохозяйственными водоемами региона интенсивность промысла на нем ниже. Это связано прежде всего с его значительной удаленностью от крупных городов области и отсутствием долгое время подъездных путей к береговой линии. По этой же причине и комплексные экологические исследования озера начались значительно позже, чем других крупных рыбохозяйственных водоемов региона.

Первые исследования разных групп гидробионтов озера Воже, в том числе зоопланктона, проведены лишь в 1972–1974 гг. Вологодско-Архангельской экспедицией Института озераведения АН СССР, организованной для прогноза изменения экосистем северных водоемов при переброске их стока в реку Волгу [Смирнова, 1978]. За указанный период выполнено 8 гидробиологических съемок на стандартной сетке станций, охватившей основные биотопы водоема. Также проведен сбор подледных проб в марте 1972 г. Сбор материала осуществлялся стандартными методами малой сетью Джеди (газ № 55). Было выяснено, что зоопланктон водоема представлен обычными для северо-запада европейской части России видами, преимущественно эврибионтами. Выявлено высокое сходство состава зоопланктона с таковым в крупных озерах соседних регионов. По состоянию зоопланктона озеро Воже оценено как средnekормный мезотрофный водоем. При этом амплитуда колебаний обилия зоопланктона озера по годам и в течение вегетационного сезона значительно меньше, чем в глубоких водоемах [Смирнова, 1978].

В середине 1980-х гг. эти исследования были продолжены. Отбор проб зоопланктона проводился с мая по сентябрь на 10 станциях, охвативших всю акваторию озера. Результаты исследований подтвердили, что озеро Воже является мезотрофным выше средней кормности, а зоопланктон открытой воды и зарослей существенно различается как по видовому составу, так и по количественным характеристикам. При этом зоопланктон водоема не оказывает влияния на зоопланктон озера Лача, так как более 99 % организмов погибают в реке Свидь, а работы по переброске стока приведут к значительным перестройкам структуры зоопланктона, в том числе к резкому снижению его кормовой ценности, в связи с изменениями гидрологического режима и гибелью макрофитов.

С 1989 г. наблюдения за состоянием гидробионтов озера Воже осуществляются Вологодским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» (ранее Вологодская лаборатория ФГБНУ «ГосНИОРХ»)

[Болотова и др., 1998; Думнич, Лобуничева, 2011]. Изначально эти исследования были направлены преимущественно на оценку кормовой ценности гидробионтов. Мониторинговые исследования планктона озера в 2000-х гг., в том числе отбор проб в зарослях макрофитов, позволили значительно расширить список видов зоопланктона озера Воже, а также охарактеризовать особенности сезонной динамики сообщества.

В статье впервые обобщена информация о зоопланктоне оз. Воже за период с 1972 по 2019 г. Данные о составе и уровне развития зоопланктона в 1972–1974, 1983, 1984 гг. получены из архивных отчетов Института озераведения РАН и опубликованных материалов [Смирнова, 1978]. Состояние зоопланктона в 1989–2019 гг. оценено по архивным материалам Вологодского филиала ФГБНУ «ВНИРО», в том числе оригинальным исследованиям авторов. Учитывая объективные различия в задачах и методах проводимых в разные годы исследований, при анализе осуществлена генерализация имеющихся данных. Всего за этот период проанализировано 575 протоколов обработки проб.

С 2000 г. наблюдения за состоянием зоопланктона озера Воже осуществляются ежегодно, с 2014 г. они проводятся на одних и тех же участках озера (рис. 1) во все основные сезоны года (весна, лето, осень), а с 2016 г. и в подледный период. Сбор гидробиологических проб в указанный период проводится единым орудием лова – малой сетью Джеди с размером ячеи 74 мкм с последующей фиксацией 4%-м раствором формалина. При сборе проб в зарослях макрофитов для уточнения видового состава организмов осуществлялись смывы с побегов растений, при этом учитывался средний размер отбираемых побегов. Всего за этот период собрано и обработано 327 проб.

Особенности пространственного распределения зоопланктона по акватории озера охарактеризованы по результатам гидробиологических съемок в августе 2007, 2009, 2011, 2015 и 2018 гг. Отбор проб был проведен по всей акватории водоема (рис. 1), на участках открытой воды и доминирующих зарослях макрофитов.

Камеральная обработка гидробиологических проб выполнялась в соответствии с общепринятыми методиками [Методика..., 1975; Методические..., 1982]. Определение таксономической принадлежности организмов осуществлялось с помощью соответствующих определителей [Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970; Определитель..., 1995, 2010]. Вес ракообразных и коловраток устанавливали

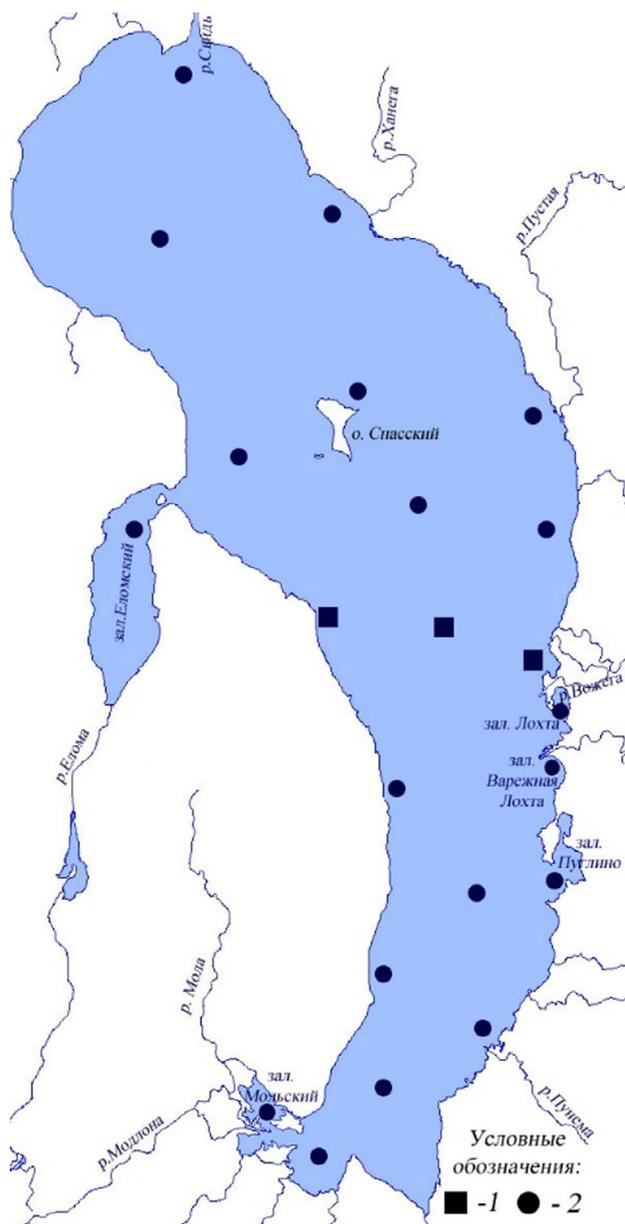


Рис. 1. Картограмма станций отбора проб на оз. Воже:

1 – станции мониторинговых исследований (2014–2019 гг.),  
2 – станции отбора проб при гидробиологических съемках

Fig. 1. Schematic map of sampling stations on Lake Vozhe:

1 – monitoring research stations (2014–2019), 2 – sampling stations during the hydrobiological surveys

по длине, используя зависимость, полученную Е. В. Балушкиной и Г. Г. Винбергом [1979]. В рамках анализа оценивали численность (тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассу (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона, индекс доминирования Бергера – Паркера ( $I_{BP}$ ), среднюю индивидуальную массу зоопланктона ( $W_{cp}$ , мкг), выделяли доминирующий комплекс видов с относительной численностью более 5% [Песенко, 1982; Крючкова, 1987; Лазарева и др., 2001].

Математическая обработка данных проводилась стандартными статистическими методами [Ивантер, Коросов, 2010] с использованием программного обеспечения MS Excel (встроенных функций и специально созданных для расчета отдельных параметров макросов).

## Результаты и обсуждение

В составе зоопланктона озера Воже за весь период исследований выявлено 158 видов беспозвоночных животных, среди них коловраток – 70, ветвистоусых ракообразных – 64, веслоногих ракообразных – 24. Таксономический состав зоопланктона озера типичен для водоемов таежной зоны [Пидгайко, 1984]. Наиболее богатыми по числу видов среди коловраток являются семейства Synchaetidae (14 видов) и Brachionidae (9 видов). Почти половина ветвистоусых ракообразных (31 вид) принадлежат к семейству Chydoridae, типичным обитателям дна и зарослей водоемов.

Наибольшее число видов (143) зарегистрировано в ходе исследований последнего десятилетия, что напрямую связано с расширением сети станций отбора проб. Регулярный отбор проб в разнотипных зарослях макрофитов позволил обнаружить в составе зоопланктона многие виды, ведущие придонный образ жизни и ассоциируемые с высшими водными растениями. Впервые в 2010–2019 гг. было обнаружено 74 вида зоопланктона, среди них коловраток – 44 вида, кладоцер – 24 вида, копепоид – 6 видов. Во все периоды наблюдений встречались всего 33 вида (21%) зоопланктона.

В состав зоопланктона озера входят преимущественно эврибионтные виды. Мелководность и интенсивное развитие зарослей макрофитов обуславливают широкую представленность в зоопланктоне фитофильных и прибрежных организмов, которые составляют более 50% от общего числа выявленных видов. Отличительной особенностью оз. Воже от других крупных водоемов Вологодской области является отсутствие в составе гидробионтов инвазивных видов, что связано с его изолированностью.

Наиболее обширный комплекс доминирующих видов был характерен для зоопланктона озера в 1970–80-е гг. (табл. 1). В этот период в число доминантов входили 10–13 видов зоопланктона, в том числе такие пелагические виды, как *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Limnospira frontosa*. Начиная с 1990-х гг. отмечается выпадение этих видов из общего числа доминантов. Сравнительно высокая их численность регистрируется локально в от-

Таблица 1. Средние значения характеристик зоопланктона озера Воже в разные периоды исследований  
Table 1. Average values of the characteristics of the zooplankton in Lake Vozhe at different periods of the research

Характеристика Characteristics	Годы Years				
	1972–1975	1983–1984	1990–1999	2000–2009	2010–2019
$I_{B/P}$	–	–	0,4	0,3	0,3
Виды-доминанты Dominant species	<i>Conochilus unicornis</i> , <b><i>Kellicottia longispina</i></b> , <i>Asplanchna priodonta</i> , <b><i>Daphnia cucullata</i></b> , <b><i>Bosmina coregoni</i></b> , <i>Limnospida frontosa</i> , <b><i>Eudiaptomus gracilis</i></b> , <b><i>Mesocyclops leuckarti</i></b> , <i>Thermocyclops oithonoides</i>	<i>Conochilus unicornis</i> , <b><i>Kellicottia longispina</i></b> , <i>Asplanchna priodonta</i> , <b><i>Daphnia cucullata</i></b> , <b><i>D. cristata</i></b> , <b><i>Bosmina coregoni</i></b> , <i>B. longirostris</i> , <i>Chydorus sphaericus</i> , <i>Limnospida frontosa</i> , <b><i>Eudiaptomus gracilis</i></b> , <i>Heterocope appendiculata</i> , <b><i>Mesocyclops leuckarti</i></b> , <i>Thermocyclops oithonoides</i>	<b><i>Kellicottia longispina</i></b> , <i>Asplanchna priodonta</i> , <b><i>Daphnia cucullata</i></b> , <b><i>D. cristata</i></b> , <b><i>Bosmina coregoni</i></b> , <b><i>Eudiaptomus gracilis</i></b> , <b><i>Mesocyclops leuckarti</i></b> , <i>Thermocyclops oithonoides</i>	<i>Keratella cochlearis</i> , <b><i>Kellicottia longispina</i></b> , <i>Polyarthra sp.</i> , <b><i>Daphnia cucullata</i></b> , <b><i>D. cristata</i></b> , <b><i>Bosmina coregoni</i></b> , <b><i>Eudiaptomus gracilis</i></b> , <b><i>Mesocyclops leuckarti</i></b>	<b><i>Kellicottia longispina</i></b> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Polyarthra sp.</i> , <b><i>Daphnia cucullata</i></b> , <b><i>D. cristata</i></b> , <b><i>Bosmina coregoni</i></b> , <b><i>Mesocyclops leuckarti</i></b>
$W_{cp.}$ мкг $W_{av.}$ мкг	16,7	17,7	23,4 ± 1,49	13,8 ± 2,15	10,0 ± 0,78
$N_{общ.}$ тыс. экз./м <sup>3</sup> $N_{tot.}$ thous. ind./m <sup>3</sup>	71,9	141,5	41,9 ± 3,54	31,4 ± 3,92	84,4 ± 8,79
$B_{общ.}$ г/м <sup>3</sup> $B_{tot.}$ g/m <sup>3</sup>	1,2	2,5	0,8 ± 0,08	0,3 ± 0,05	1,1 ± 0,18
$N_{Rot.}/N_{tot.}$ %	27	27	18 ± 2,3	15 ± 2,5	27 ± 2,7
$N_{Clad.}/N_{tot.}$ %	20	28	47 ± 2,2	30 ± 3,6	20 ± 1,5
$N_{Cop.}/N_{tot.}$ %	53	45	43 ± 1,9	56 ± 3,2	53 ± 2,3

Примечание.  $I_{B/P}$  – индекс доминирования Бергера – Паркера, рассчитанный по численности [Песенко, 1982],  $W_{cp.}$  – средняя масса организма [Крючкова, 1987],  $N$ ,  $B$  – численность и биомасса зоопланктона в летний период (Rot. – Rotifera, Clad. – Cladocera, Cop. – Copepoda, общ. – общая); полужирным шрифтом выделены виды-доминанты, общие для всех периодов исследования. Приведены средние значения и их стандартные ошибки.

Note.  $I_{B/P}$  – Berger – Parker dominance index, calculated by number,  $W_{cp.}$  – average body weight,  $N$ ,  $B$  – summer zooplankton abundance and biomass (Rot. – Rotifera, Clad. – Cladocera, Cop. – Copepoda, tot – total); dominants common to all research periods are given in bold. Average values and their standard error are provided.

дельные периоды наблюдений. Так, например, хищная коловратка *Asplanchna priodonta* формировала до 8 % общей численности зоопланктона в начале лета 2011 г., *Conochilus unicornis* составлял более 10 % численности зоопланктона в сентябре 2012 г. Ракообразные *Limnospida frontosa* и *Leptodora kindtii* на отдельных станциях в летний период составляли до 7 % общей плотности зоопланктона.

В последние три десятилетия в разные периоды наблюдений в пелагиали водоема регистрируется до 8 (чаще 3–4) доминантных видов. Величины индекса доминирования и ядро доминирующего комплекса зоопланктона практически не меняются. В 2000-х гг. отмечается снижение относительной численности всех ракообразных, входящих в состав доминантов (табл. 1).

Средняя численность зоопланктона озера Воже за весь период исследований составляет  $56,6 \pm 3,42$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе

$1,0 \pm 0,10$  г/м<sup>3</sup>, что позволяет охарактеризовать его как средnekормный мезотрофный водоем [Пидгайко и др., 1968; Андроникова, 1996]. При этом уровень развития зоопланктона озера подвержен закономерным сезонным и межгодовым колебаниям, характерным для большинства водоемов таежной зоны. Минимальные численность и биомасса зоопланктона озера регистрируются в подледный период. Средняя плотность зоопланктона в марте 2016–2019 гг. составляла  $0,6 \pm 0,15$  (0,1–2,3) тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса –  $15 \pm 4,6$  (0,02–72) мг/м<sup>3</sup>. Повсеместно в составе сообщества доминировали веслоногие ракообразные – *Eucyclops serrulatus*, *Cyclops strenuus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Eudiaptomus gracilis*. Коловратки составляли в среднем  $31 \pm 7,6$  % численности и  $6 \pm 5,5$  % биомассы зоопланктона и были представлены *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Polyarthra sp.*, *Synchaeta sp.* Аналогичная структура зимнего зоопланктона была

характерна для водоема и в марте 1972 г. [Смирнова, 1978]. Лишь в составе кладоцер вместо *Daphnia cucullata*, единичные особи которой регистрировалась в 1972 г., встречалась *Daphnia cristata*, самый многочисленный вид дафний, встречающихся в озерах зимой [Ривьер, 2012]. Плотность этого вида составляла от 32 до 64 экз./м<sup>3</sup>.

Значительное увеличение обилия зоопланктона озера наблюдается после распаления льда и прогрева воды. Лишь в этот период выявлена положительная корреляция численности и биомассы зоопланктона и температуры воздуха (коэффициент корреляции 0,6). В годы, когда средняя температура воздуха в мае не превышала 10 °С, средняя численность зоопланктона составляла  $4,9 \pm 1,70$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе  $0,03 \pm 0,009$  г/м<sup>3</sup>. С 2005 по 2019 гг. (за исключением 2008 и 2017 гг.) средняя температура воздуха в мае изменялась от 10,4 до 14,3 °С. В этот период средние плотность и биомасса зоопланктона озера были значительно выше –  $84,5 \pm 13,03$  тыс. экз./м<sup>3</sup> и  $1,3 \pm 0,21$  г/м<sup>3</sup> соответственно. Весна 1973 г., когда были получены первые материалы об обилии и структуре весеннего зоопланктона озера Воже, была также очень теплой. Средняя температура воздуха в мае 1973 г. составляла 10,2 °С, а переход среднесуточной температуры воздуха через 5 и 10 °С зарегистрирован 29 апреля и 12 мая соответственно. Благоприятные термические условия вызвали значительное увеличение численности и биомассы зоопланктона, которые 31 мая 1973 г. были равны 660 тыс. экз./м<sup>2</sup> и 18,5 г/м<sup>2</sup> соответственно. Во многом такое высокое обилие зоопланктона связано с первым пиком развития *Asplanchna priodonta*, численность которого достигала 400 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – 15,9 г/м<sup>2</sup>. Материалы 1984 г. также свидетельствуют о высоком обилии зоопланктона озера в конце мая. Средняя численность зоопланктона в этот период составляла 157 тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе 1,48 г/м<sup>3</sup>. Средняя температура воздуха в мае 1984 г. была 13,4 °С, а переход среднесуточной температуры воздуха через 5 и 10 °С зарегистрирован 29 апреля и 14 мая соответственно.

Структура весеннего зоопланктона озера Воже, несмотря на колебания уровня развития в зависимости от метеоусловий, во все периоды сходна. Основу численности и биомассы сообщества составляют науплии и копеподиты циклопов (*Mesocyclops leuckarti*, *Cyclops strenuus*). В годы со сравнительно высокими температурами воздуха в составе зоопланктона отмечается увеличение обилия более теплолюбивых кладоцер, в частности *Bosmina coregoni*

и *Daphnia cristata*, коловраток *Asplanchna priodonta* и *Kellicottia longispina*. Пространственные различия зоопланктона озера в весенний период выражены незначительно. Более высокие численность и биомасса практически ежегодно регистрируются в центральной мелководной части водоема.

Максимум численности и биомассы зоопланктона в озере Воже наблюдается летом, что соответствует специфике сезонной динамики зоопланктона в мезотрофных водоемах таежной зоны [Андроникова, 1996]. Наиболее детальные исследования сезонных изменений структуры и обилия зоопланктона озера Воже осуществлялись в 1973 г., когда сбор проб летом проводился с интервалом в 7 дней [Смирнова, 1978]. В результате выявлено, что для зоопланктона водоема характерны частые колебания численности и биомассы. Максимальные значения биомассы зоопланктона (2,1 и 3,5 г/м<sup>2</sup>) были зафиксированы в середине июля и середине августа соответственно. Доминирующей группой зоопланктона в течение практически всего лета являлись кладоцеры. В середине июля массово в составе сообщества развивались *Daphnia cucullata*, *Mesocyclops leuckarti*. Также в этот период отмечалась высокая плотность науплиев и коловратки *Conochilus unicornis*. В августе численность зоопланктона была сравнительно невысокой (150 тыс. экз./м<sup>2</sup>). Ее основу составляли копеподиты *Cyclopoida* и *Daphnia cucullata*. Пик биомассы связан с развитием *Asplanchna priodonta*, *Daphnia cucullata*, *Eudiaptomus gracilis*. Увеличение обилия зоопланктона озера к концу лета регистрируется и современными исследованиями.

В начале лета зоопланктон водоема характеризуется сравнительно высокой численностью (рис. 2). В составе сообщества в июне еще наблюдается высокая плотность науплиев и копеподитов циклопов, а также коловраток *Asplanchna priodonta* и *Kellicottia longispina* (табл. 2). В этот период отмечается максимальное за вегетационный сезон обилие *Heteroscope appendiculata* ( $1,0 \pm 0,18$  тыс. экз./м<sup>3</sup>), который в дальнейшем встречается единично, что отмечалось и в 1973 г.

В середине лета обилие зоопланктона озера снижается. Доля в численности и биомассе ветвистоусых рачков увеличивается и достигает своего максимума в августе. Значительное повышение уровня развития зоопланктона озера в конце лета обусловлено именно интенсивным развитием кладоцер (рис. 2). Помимо пелагических видов, которые входят в состав комплекса доминантов в течение большей части вегетационного сезона, увеличивается

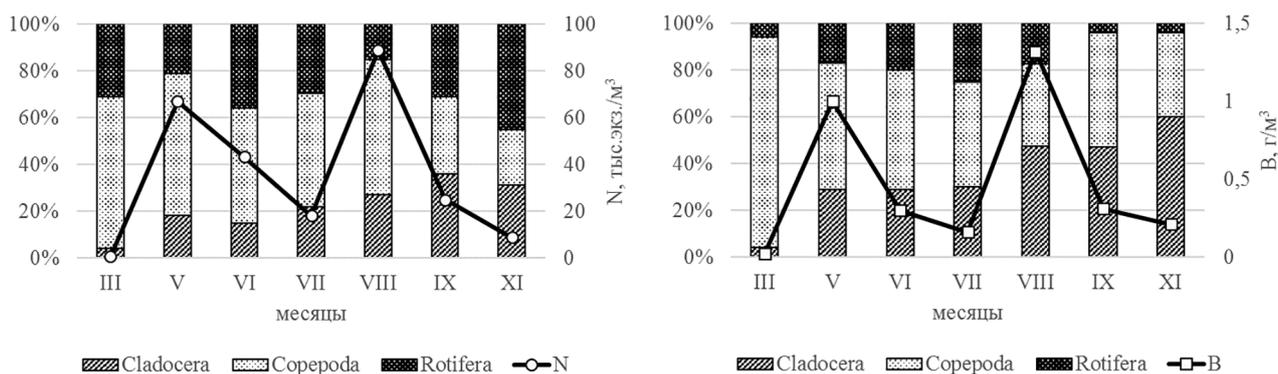


Рис. 2. Сезонная динамика численности (N, тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомассы (B, г/м<sup>3</sup>) и соотношение основных групп (%) зоопланктона озера Воже в 2000-х гг.

Fig. 2. Seasonal dynamics of abundance (N, thous. ind./m<sup>3</sup>), biomass (B, g/m<sup>3</sup>) and ratio of major zooplankton groups (%) of Lake Vozhe in the 2000s

Таблица 2. Средняя численность (тыс. экз./м<sup>3</sup>) доминирующих видов и их доля в общей численности зоопланктона (%) озера Воже в 2002–2019 гг.

Table 2. Average abundance (thous. ind./m<sup>3</sup>) of dominant species and their contribution to the total abundance of zooplankton (%) of Lake Vozhe in 2002–2019

Таксон Taxon	Месяц Month						
	Март March	Май May	Июнь June	Июль July	Август August	Сентябрь September	Ноябрь November
<i>Asplanchna priodonta</i>	–	$5,7 \pm 1,88^*$ 6 ± 1,5	$3,8 \pm 0,79$ 10 ± 2,2	$0,3 \pm 0,06$ 3 ± 1	$1,1 \pm 0,17$ 2 ± 0,3	$0,4 \pm 0,09$ 1 ± 0,2	$0,1 \pm 0,05$ 1 ± 0,5
<i>Kellicottia longispina</i>	$0,1 \pm 0,03$ 9 ± 2,7	$3,9 \pm 0,90$ 6 ± 2,5	$5,8 \pm 1,04$ 9 ± 1,0	$0,6 \pm 0,26$ 3 ± 0,9	$1,5 \pm 0,20$ 2 ± 0,3	$1,3 \pm 0,22$ 5 ± 1,0	$1,1 \pm 0,47$ 12 ± 2,3
<i>Bosmina coregoni</i>	–	$5,2 \pm 1,71$ 10 ± 2,4	$0,9 \pm 0,19$ 2 ± 0,4	$1,1 \pm 0,22$ 2 ± 0,9	$1,2 \pm 0,27$ 2 ± 0,5	$1,1 \pm 0,28$ 4 ± 1,0	$0,5 \pm 0,25$ 3 ± 1,0
<i>Daphnia cristata</i>	$0,02 \pm 0,010$ 3 ± 1,1	$2,7 \pm 0,81$ 3 ± 0,6	$4,1 \pm 0,82$ 8 ± 1,3	$2,2 \pm 0,44$ 5 ± 1,7	$2,7 \pm 0,33$ 4 ± 0,4	$1,4 \pm 0,27$ 6 ± 1,1	$3,1 \pm 1,27$ 23 ± 4,8
<i>D. cucullata</i>	–	$0,6 \pm 0,23$ 1 ± 0,2	$0,5 \pm 0,13$ 1 ± 0,2	$0,8 \pm 0,35$ 4 ± 1,9	$6,4 \pm 1,24$ 6 ± 0,7	$1,0 \pm 0,27$ 3 ± 0,5	–
<i>Eudiaptomus gracilis</i>	$0,1 \pm 0,03$ 13 ± 5,4	$0,6 \pm 0,15$ 1 ± 0,2	$0,9 \pm 0,21$ 1 ± 0,3	$1,0 \pm 0,28$ 4 ± 1,3	$1,0 \pm 0,11$ 2 ± 0,4	$1,0 \pm 0,17$ 4 ± 0,7	$0,6 \pm 0,27$ 4 ± 1,3
<i>Mesocyclops leuckarti</i>	$0,1 \pm 0,07$ 5 ± 3,2	$3,8 \pm 0,77$ 9 ± 2,4	$5,1 \pm 1,18$ 9 ± 1,4	$0,8 \pm 0,31$ 3 ± 1,1	$8,0 \pm 1,21$ 10 ± 1,1	$2,9 \pm 0,72$ 7 ± 1,2	$0,003 \pm 0,0023$ 0,02 ± 0,014
<i>M. oithonoides</i>	–	$0,2 \pm 0,09$ 0,4 ± 0,18	$0,1 \pm 0,07$ 0,1 ± 0,06	–	$5,1 \pm 1,36$ 3 ± 0,7	$0,01 \pm 0,013$ 0,1 ± 0,10	$0,01 \pm 0,003$ 0,1 ± 0,11
<i>Nauplii</i>	$0,04 \pm 0,026$ 5 ± 2,6	$15,3 \pm 4,0$ 22 ± 2,9	$7,5 \pm 1,32$ 19 ± 2,5	$2,4 \pm 0,75$ 12 ± 2,8	$14,5 \pm 1,2$ 18 ± 1,3	$1 \pm 0,2$ 4 ± 0,6	$0,1 \pm 0,06$ 4 ± 2,3

Примечание. Над чертой – численность, под чертой – относительная численность. Приведены средние значения и их стандартные ошибки.

Note. The abundance is given above the line, contribution to the density – below the line. Average values and their standard error are provided.

обилие фитофильных организмов (*Sida crystallina*, *Acroperus harpae*, *Polyphemus pediculus* и др.). Среди циклопов в этот период высокой плотностью характеризуются *Mesocyclops leuckarti* и *M. oithonoides* (табл. 2).

Осенью обилие зоопланктона озера Воже снижается. В последнее десятилетие средняя численность зоопланктона в сентябре составила  $37,5 \pm 4,30$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса –  $0,4 \pm 0,06$  г/м<sup>3</sup>. В структуре сообщества

происходят закономерные изменения. Среди клadoцер сокращается плотность дафний (табл. 2). Численность более холодноводной *Bosmina coregoni* по сравнению с летними значениями практически не меняется. Снижается численность науплиев и копепоидитов циклопов. При этом увеличивается роль в сообществе коловраток родов *Keratella* и *Polyarthra*. Межгодовые различия обилия зоопланктона осенью выражены незначительно. В отдель-

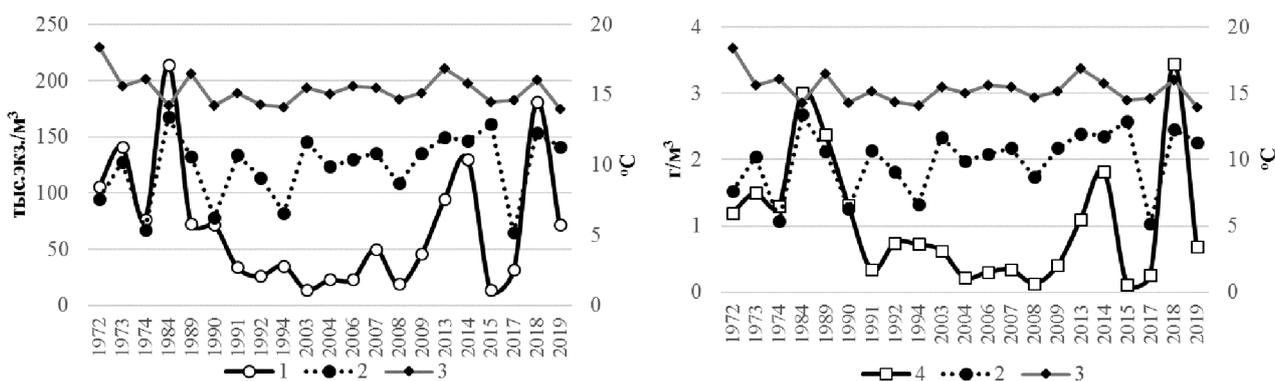


Рис. 3. Динамика летних численности (тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомассы (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона озера Воже и температуры воздуха на станции «Вожега» (°C) в 1972–2019 гг.:

1 – численность зоопланктона, 2 – средняя температура воздуха в мае, 3 – средняя летняя температура воздуха, 4 – биомасса зоопланктона

Fig. 3. Dynamics of summer abundance (thous. ind./m<sup>3</sup>), biomass (B, g/m<sup>3</sup>) of zooplankton of Lake Vozhe and air temperature at the Vozhega station (°C) in 1972–2019:

1 – abundance of zooplankton, 2 – average air temperature in May, 3 – average summer air temperature, 4 – biomass of zooplankton

ные годы с аномально теплым началом осени, как, например, в 1992 г., регистрировались численность и биомасса зоопланктона даже выше, чем летом ( $72,7 \pm 11,62$  тыс. экз./м<sup>3</sup> и  $1,7 \pm 0,29$  г/м<sup>3</sup> соответственно). Это связано преимущественно с высоким обилием доминанта *Bosmina coregoni*.

Наблюдения за состоянием гидробионтов озера в конце осени начались сравнительно недавно (с 2017 г.). В этот период зоопланктон водоема характеризуется упрощенной структурой. Основу численности ( $47 \pm 4,8\%$ ) составляют коловратки *Kellicottia longispina* и *Keratella cochlearis*. По величинам биомассы лидируют ракообразные. В разные годы структура доминирующего комплекса несколько меняется. Среди циклопид доминирует *Cyclops kolensis*, доля *Eudiaptomus gracilis* в общей численности сохраняется (табл. 2). В составе кладоцер снижается обилие *Bosmina coregoni* и увеличивается численность холодолюбивой *Daphnia cristata*, присутствующей в составе зоопланктона озера в течение всего года.

Многолетняя динамика зоопланктона озера Воже характеризуется колебаниями численности и биомассы (рис. 3). Выявление причин межгодовых различий уровня развития зоопланктона озера Воже осложнено определенной разрозненностью данных за отдельные периоды исследований. Прослеживается зависимость величин численности и биомассы зоопланктона водоема от температуры воздуха в мае (рис. 3). Благоприятный температурный режим в начале вегетационного сезона приводит к повышению рождаемости у многих видов зоопланктеров, особенно кладоцер [Гиляров,

1987], что влечет за собой увеличение численности зоопланктона в отдельные годы.

В 1970-х и 1984 гг. зоопланктон водоема характеризовался высокими летними численностью и биомассой (табл. 1, рис. 3). При этом вклад основных групп зоопланктеров (*Rotifera*, *Cladocera*, *Copepoda*) в численность был примерно одинаков. Начиная с 1991 г. наблюдается снижение обилия зоопланктона озера. В период с 1991 по 2009 г. общая численность зоопланктеров в летний период не превышала 50 тыс. экз./м<sup>3</sup>, что обусловлено преимущественно сокращением количества коловраток и кладоцер. Это, в свою очередь, повлекло за собой рост средней массы планктонных животных, которая в 1990-х гг. была максимальной за весь период наблюдений ( $23,4 \pm 1,49$  мкг). Однако, несмотря на это, из-за низкой плотности организмов биомасса была невысока ( $0,1-0,7$  г/м<sup>3</sup>).

За анализируемый период значительно увеличился уровень развития зоопланктона в мелководных заливах восточной части озера. В 1990–1993 гг. средняя численность зоопланктона на этих участках не превышала 50,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>, составляя в среднем  $17,0 \pm 14,79$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Величины биомассы зоопланктона также были низкими ( $0,1 \pm 0,07$  г/м<sup>3</sup>). В середине 1990-х гг. на озере Воже прекратился неводный лов рыбы, благодаря которому прибрежные участки водоема, в том числе и заливы, интенсивно очищались от макрофитов. Это привело к некоторому увеличению площади зарослевой зоны. Анализ космических снимков акватории озера Воже за многолетний период выявил, что заливы вос-

точной части озера – это единственные участки водоема, где существенно увеличилась площадь, занятая гелофитами [Филоненко, Комарова, 2015]. Средняя численность зоопланктона на данных участках в 2007–2018 гг. составляла  $80,1 \pm 14,38$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе  $3,3 \pm 1,41$  г/м<sup>3</sup>, что значительно выше аналогичных показателей 1990-х гг. Структура сообщества изменилась незначительно. Относительная численность копепод осталась неизменной (47 %), а кладоцер – возросла с  $40 \pm 15,7$  до  $45 \pm 5,4$  %. За счет интенсивного развития крупных зарослевых видов (*Sida crystallina*, *Polyphemus pediculus*, *Acroperus harpae*) доля ветвистоусых ракообразных в общей биомассе планктона увеличилась с  $40 \pm 6,7$  до  $65 \pm 6,6$  %.

Среди рыб озера Воже наибольшую численность имеют плотва, лещ и окунь. Большинство мирных видов характеризуются в условиях водоема тугорослостью [Жаков, 1978; Борисов и др., 2011]. Немногочисленные исследования связывают медленный рост рыб озера Воже с низкой обеспеченностью пищей [Борисов и др., 2011]. Малая доступность бентосных организмов определяет переход рыб, особенно в раннем возрасте, на питание зоопланктоном. Зоопланктеры характеризуются высокой встречаемостью в составе пищи рыб озера Воже, а у мелких особей составляют и до 90 % массы пищевого комка [Зуянова, 1994]. Наиболее часто в составе пищи рыб встречаются ветвистоусые ракообразные. Состав зоопланктеров, которые преимущественно потребляются рыбами, различается. У типичных планктофагов (сиг, ряпушка, уклея, снеток) это доминирующие виды зоопланктона (*Bosmina coregoni*, *Daphnia cristata*, *Limnosida frontosa*). У рыб, которые в условиях озера Воже являются эврифагами (лещ, плотва, язь), это организмы, обитающие в придонном слое воды (представители семейства Chydoridae). В результате отмены неводного лова в начале 1990-х гг. и переориентации промысла на вылов крупной рыбы в водоеме увеличилась численность рыб малых размеров, которые интенсивно питаются зоопланктоном. Усилилось выедание как крупных зоопланктеров (*Limnosida frontosa*, *Leptodora kindtii*), так и сравнительно мелких, но многочисленных (*Bosmina coregoni*, представители семейства Chydoridae). В результате численность этих организмов снизилась, они стали входить в состав доминирующего комплекса лишь в отдельные годы.

Произошли изменения в характере антропогенного влияния и на водосбор озера Воже, которые отразились на водных сообществах. В начале 1990-х гг. существенно сократилось

сельскохозяйственное освоение водосбора озера и количество вносимых в почву минеральных удобрений, что привело к уменьшению поступления органических веществ, в частности фосфора, через притоки в озеро [Борисов, 2004]. В сочетании с другими факторами это вызвало снижение продуктивности планктонных сообществ. Подобные структурные изменения зоопланктона отмечаются и для других водоемов как признак их деэвтрофирования [Остапеня, 1997; Макарецца, 2003; Мнацаканова, 2005; Кузнецова и др., 2006; Лазарева, 2010].

В последнее десятилетие регистрируется увеличение уровня развития зоопланктона. Средняя численность зоопланктеров в летний период в 2010–2019 гг. составила  $84,4 \pm 8,79$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при биомассе  $1,1 \pm 0,18$  г/м<sup>3</sup>, что сопоставимо с показателями 1973 г. При этом снизились средняя индивидуальная масса организмов (до  $10,0 \pm 0,78$  мкг) и плотность коловраток, что может свидетельствовать о снижении роли в сообществе крупных ракообразных. Значительное увеличение средних численности и биомассы зоопланктона озера в отдельные годы связано преимущественно с изменением обилия *Daphnia cristata* и *D. cucullata*. Количество этих тонких фильтраторов в водоеме определяется уровнем развития бактерий и мелких планктонных водорослей [Крючкова, 1989; Макарецца, 2003]. Согласно неопубликованным материалам Н. Н. Макаренко, для озера Воже в годы, когда регистрировалось высокое обилие летнего зоопланктона, отмечается увеличение численности фитопланктона, при этом биомасса остается на среднемноголетнем уровне. Это может свидетельствовать о повышении доли мелкогабаритных организмов в структуре фитопланктона.

## Заключение

Структура и динамика зоопланктона озера Воже определяется комплексом внешних и внутренних факторов. В составе зоопланктона преобладают широко распространенные в регионе эвритопные виды. Показатели видового богатства, представленность видов-индикаторов, уровень доминирования в сообществе свидетельствуют о мезотрофном статусе водоема. Сезонная динамика зоопланктона озера Воже зависит от метеоусловий и характеризуется двумя пиками численности и биомассы – в мае и августе. Наиболее выражено влияние температуры воздуха на обилие зоопланктона в весенний период. Доминантами в сообществе являются ракообразные.

За более чем 40-летний период исследований несколько изменился состав доминантов зоопланктона озера Воже. Соотношение разных групп зоопланктеров по численности осталось практически неизменным. Изменение характера рыбного промысла на водоеме усилило выедание мелкочастиковыми рыбами крупных пелагических и мелких придонных ракообразных. Отмена неводного лова повлияла и на пространственную структуру зоопланктона озера. Увеличились численность и биомасса зоопланктона мелководных заливов восточной части водоема. Многолетняя динамика зоопланктона озера Воже характеризуется колебаниями численности и биомассы. Выявлено снижение средних численности и биомассы летнего зоопланктона, что, вероятно, связано с уменьшением биогенной нагрузки на водоем. Значительное увеличение численности и биомассы зоопланктона в отдельные годы последнего десятилетия вызвано высоким обилием отдельных видов зоопланктеров.

## Литература

- Андроникова И. Н.* Изменения в сообществе зоопланктона в связи с процессом эвтрофирования // Эвтрофирование мезотрофного озера. Л.: Наука, 1980. С. 78–99.
- Андроникова И. Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 189 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. 58–79.
- Болотова Н. Л., Думнич Н. В., Зуянова О. В.* Влияние антропогенного эвтрофирования на состояние зоопланктоценоза озера Воже // Проблемы экологической токсикологии. Петрозаводск: ПетрГУ, 1998. С. 58–64.
- Борисов М. Я.* Изменение содержания фосфора в почвах водосбора озера Воже и его влияние на эвтрофирование водоема // Вестник НСО. Сер. Физико-математические и естественнонаучные дисциплины. Тем. вып. «Исследования биологического и ландшафтного разнообразия Вологодской области». Вологда: ВГПУ, Русь, 2004. С. 8–13.
- Борисов М. Я., Коновалов А. Ф., Тропин Н. Ю., Филоненко И. В.* Современное состояние рыбных ресурсов озера Воже (Вологодская область) // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов: I Всерос. конф. с междунар. уч. (п. Борок, 12–16 сентября 2011 г.). Т. I. М.: АКВАРОС, 2011. С. 86–90.
- Гиляров А. М.* Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. М.: Наука, 1987. 192 с.
- Думнич Н. В., Болотова Н. Л.* Закономерности изменения зоопланктона крупных озер Вологодской области // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Матер. междунар. науч. конф. (Минск – Нарочь, 20–25 сент. 1999 г.). Минск: БГУ, 2000. С. 75–80.
- Думнич Н. В., Лобуничева Е. В.* Динамика зоопланктона озерной части Шекснинского водохранилища (Вологодская область) // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального использования: Матер. докл. Всерос. конф. с междунар. уч., посв. 85-летию Татарского отд. ГосНИОРХ (Казань, 24–29 октября 2016 г.). Казань, 2016. С. 338–349.
- Думнич Н. В., Лобуничева Е. В.* Пространственное распределение зоопланктона озера Воже (Вологодская область) // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. IV Междунар. науч. конф. (Минск – Нарочь, 12–17 сент. 2011 г.). Минск: БГУ, 2011. С. 105.
- Жаков Л. А.* Ихтиоценоз оз. Воже и его использование // Гидробиология озер Воже и Лача (в связи с прогнозом качества вод, перебрасываемых на юг). Л.: Наука, 1978. С. 179–195.
- Жданова С. М., Сабитова Р. З., Цветкова М. В.* Состав и структура зоопланктона озера Плещеево // Труды ИБВВ РАН. 2019. Т. 86(89). С. 34–56. doi: 10.24411/0320-3557-2019-10010.
- Зуянова О. В.* Изменения в структуре рыбной части сообщества озера Воже: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1994. 18 с.
- Ивантер Э. В., Коросов А. В.* Элементарная биометрия: учебное пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. 104 с.
- Коровчинский Н. М., Бойкова О. С., Мнацаканова Е. А.* Долговременные наблюдения пелагического зоопланктона озера Глубокого и некоторые проблемы мониторинговых исследований // Труды Гидробиологической станции на Глубоком озере. Т. 11. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2017. С. 39–62.
- Крючкова Н. М.* Структура сообществ зоопланктона в водоемах разного типа // Тр. ЗИН АН СССР. Л., 1987. Т. 165. С. 184–198.
- Крючкова Н. М.* Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. М.: Наука, 1989. 124 с.
- Крючкова Н. М., Деренговская Р. А.* Динамика численности зоопланктона в озерах Нарочь, Мястро, Баторино // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Матер. междунар. науч. конф. (Минск – Нарочь, 20–25 сентября 1999 г.). Минск: БГУ, 2000. С. 186–191.
- Кузнецова М. А., Лаврова Т. В., Баянов Н. Г.* К проблеме деэвтрофикации озер // IX съезд Гидробиологического общества РАН (Тольятти, Россия, 18–22 сентября 2006 г.): тез. докл. Т. I. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. 249 с.
- Кутикова Л. А.* Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Л.: Наука, 1970. 744 с.
- Лазарева В. И.* Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 183 с.

Лазарева В. И., Лебедева И. М., Овчинникова Н. К. Изменения в сообществе зоопланктона Рыбинского водохранилища за 40 лет // Биология внутренних вод. 2001. № 4. С. 62–73.

Лазарева В. И., Смирнова С. М. Ракообразные и коловратки // Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука, 2008. С. 175–211.

Макарцева Е. С. Многолетние изменения зоопланктона озера Красного и динамика популяций его массовых видов // Влияние климатических изменений и эвтрофирования на динамику планктонных популяций мезотрофного озера. СПб.: НИИ химии СПбГУ, 2003. С. 77–101.

Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.; Л.: Наука, 1964. 327 с.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. 239 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.

Мнацаканова Е. А. Изменения в сообществе коловраток озера Глубокого за 100-летнюю историю его изучения // Коловратки (таксономия, биология и экология): Тез. и мат. IV Междунар. конф. по коловраткам. Ярославль: ЯГТУ, 2005. С. 233–243.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные. СПб., 1995. 628 с.

Остапеня А. П. Современное экологическое состояние Нарочанских озер // Природные ресурсы. 1997. № 3. С. 95–102.

Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.

Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 207 с.

Пидгайко М. Л., Александров Б. М., Иоффе Ц. И., Максимова Л. П., Петров В. В., Саватеева Е. Б., Салазкин А. А. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // Изв. ГосНИОРХ. Л., 1968. Т. 67. Улучшение и увеличение кормовой базы для рыб во внутренних водоемах СССР. С. 205–228.

Ривьер И. К. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги. Ижевск: Изд. Пермских С. А., 2012. 390 с.

Родионова Н. В. Зоопланктон // Ладога. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 377–389.

Смирнова Т. С. Зоопланктон озер Воже и Лача // Гидробиология озер Воже и Лача (в связи с прогнозом качества вод, перебрасываемых на юг). Л.: Наука, 1978. С. 34–63.

Столбунова В. Н. Зоопланктон озера Плещеево. М.: Наука, 2006. 152 с.

Сярки М. Т. Зоопланктон // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 54–67.

Сярки М. Т. Сезонная динамика зоопланктона Онежского озера (влияние температурного и антропогенного факторов) // Экологическое состояние континентальных водоемов северных территорий. СПб.: Наука, ВВМ, 2005. С. 215–220.

Татарина Т. А. Уровненный режим // Гидрология озер Воже и Лача. Л.: Наука, 1979. С. 61–70.

Филоненко И. В., Комарова А. С. Многолетняя динамика площади зарастания прибрежно-водной растительностью оз. Воже // Принципы экологии. 2015. Т. 4, № 4. С. 63–72.

Хаберман Ю., Вирро Т., Бланк К. Зоопланктон // Псковско-Чудское озеро. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. С. 285–306.

Gliwicz Z. M., Jawinski A., Pawlowicz M. Cladocera densities, day-to-day variability in food selection by smelt, and the birth-rate compensation hypothesis // Hydrobiologia. 2004. Vol. 526, no. 1. P. 171–186.

Gulati R. D., DeMott W. R. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities // Freshwat. Biol. 1997. Vol. 38. P. 753–768.

Hart R. C. Cladoceran periodicity patterns in relation to selected environmental factors in two cascading warm-water reservoirs over a decade // Hydrobiologia. 2004. Vol. 526, no. 1. P. 99–117.

Heald E., Hrabik T. R., Li Y., Lawson Z. J., Carpenter S. R., Vander Zanden V. J. The effects of experimental whole-lake mixing on horizontal spatial patterns of fish and zooplankton // Aquat. Sci. 2017. Vol. 79. P. 543–556. doi: 10.1007/s00027-016-0516-x

Pothoven S. A., Fahnenstiel G. L. Spatial and temporal trends in zooplankton assemblages along a near-shore to offshore transect in southeastern Lake Michigan from 2007 to 2012 // J. Great Lakes Res. 2015. Vol. 41. P. 3. P. 95–103. doi: 10.1016/j.jglr.2014.09.015

Rejas D., Declerck S., Auwerkerken J., Tak P., De Meester L. Plankton dynamics in a tropical floodplain lake: fish, nutrients, and the relative importance of bottom-up and top-down control // Freshwat. Biol. 2005. Vol. 50. P. 52–69. doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01306.x

Поступила в редакцию 13.10.2020

## References

Andronikova I. N. Izmeneniya v soobshchestve zooplanktona v svyazi s protsessom evtrofirovaniya [The changes in the zooplankton community to the eutrophication process]. *Evtrofirovaniye mezotrofnogo ozera* [Eutrophication of a mesotrophic lake]. Leningrad: Nauka, 1980. P. 78–99.

Andronikova I. N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem [Structural

and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic status]. St. Petersburg: Nauka, 1996. 189 p.

Balushkina E. V., Vinberg G. G. Zavisimost' mezhdudlinoi i massoi tela planktonnykh rakoobraznykh [Relationship between the length and body weight of planktonic crustaceans]. *Ekspierimental'nye i polevye issled. biol. osnov produktivnosti ozer* [Experimental and field

studies of the biol. foundations of lake productivity]. Leningrad: ZIN AN SSSR, 1979. P. 58–79.

*Bolotova N. L., Dumnich N. V., Zuyanova O. V.* Vliyanie antropogennogo evtrofirovaniya na sostoyanie zooplanktotsenoza ozera Vozhe [The influence of anthropogenic eutrophication on the state of zooplankton of Lake Vozhe]. *Probl. ekol. toksikologii* [Issues of ecol. toxicology]. Petrozavodsk: PetrGU, 1998. P. 58–64.

*Borisov M. Ya.* Izmenenie sodержaniya fosfora v pochvakh vodosbora ozera Vozhe i ego vliyanie na evtrofirovanie vodoema [Change in phosphorus content in the soils of the Lake Vože watershed and its effect on the eutrophication of the reservoir]. *Vestnik NSO. Ser. Fiziko-matemat. i estestvennonauch. distsipliny. Tem. vyp. "Issled. biol. i landshaftnogo raznoobraziya Vologodskoi oblasti"* [NSO Bull. Ser. Physics, mathematics, and nat. sci. disciplines. Topic: Research of biol. and landscape diversity of the Vologda Region]. Vologda: VGPU, Rus', 2004. P. 8–13.

*Borisov M. Ya., Kononov A. F., Tropin N. Yu., Filonenko I. V.* Sovremennoe sostoyanie rybnikh resursov ozera Vozhe (Vologodskaya oblast') [The current state of the fish resources of Lake Vozhe (Vologda Region)]. *Sovr. sostoyanie bioresursov vnutr. vodoemov: I Vseros. konf. s mezhdunar. uch.* (Borok, 12–16 sent. 2011 g.) [Current state of bioresources of inland water bodies: I All-Russ. conf. with int. part. (Borok, Sept. 12–16, 2011)]. Vol. I. Moscow: AKVAROS, 2011. P. 86–90.

*Dumnich N. V., Bolotova N. L.* Zakonomernosti izmeneniya zooplanktona krupnykh ozer Vologodskoi oblasti [Patterns of change in zooplankton of large lakes of the Vologda Region]. *Ozernye ekosistemy: biol. protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody: Mater. mezhdunar. nauch. konf. (Minsk – Naroch', 20–25 sent. 1999 g.)* [Lake ecosystems: biol. processes, anthropogenic transformation, and water quality: Proceed. int. sci. conf. (Minsk – Naroch, Sept. 20–25, 1999)]. Minsk: BGU, 2000. P. 75–80.

*Dumnich N. V., Lobunicheva E. V.* Dinamika zooplanktona ozernoi chasti Sheksninskogo vodokhranilishcha (Vologodskaya oblast') [Zooplankton dynamics in the lake area of Sheksna reservoir (Vologda region)]. *Sovr. sostoyanie bioresursov vnutr. vodoemov i puti ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya: Mater. dokl. Vseros. konf. s mezhdunar. uch., posv. 85-letiyu Tatarskogo otd. GosNIORKh (Kazan', 24–29 okt. 2016 g.)* [Current state of biol. resources of inland water bodies and ways of their rational use: Proceed. All-Russ. conf. with int. part., dedicated to 85<sup>th</sup> anniv. of the Tatar Br. National Research Inst. of Lake and River Fisheries (Kazan, Oct. 24–29, 2016)]. Kazan', 2016. P. 338–349.

*Dumnich N. V., Lobunicheva E. V.* Prostranstvennoe raspredelenie zooplanktona ozera Vozhe (Vologodskaya oblast') [Spatial distributions of zooplankton of Vozhe Lake (Vologda region)]. *Ozernye ekosistemy: biol. protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody: Tez. dokl. IV Mezhdunar. nauch. konf. (Minsk – Naroch', 12–17 sent. 2011 g.)* [Lake ecosystems: biol. processes, anthropogenic transformation, and water quality: Proceed. IV int. sci. conf. (Minsk – Naroch, Sept. 12–17, 2011)]. Minsk: BGU, 2011. 105 p.

*Filonenko I. V., Komarova A. S.* Mnogoletnyaya dinamika ploshchadi zarastaniya pribrezhno-vodnoi rastitel'nost'yu oz. Vozhe [Long-term dynamics of overgrowing area with coastal aquatic vegetation in Lake Vozhe]. *Pprintsipy ekol.* [Principles of Ecol.]. 2015. Vol. 4, no. 4. P. 63–72. doi: 10.15393/j1. art. 2015.4622

*Gilyarov A. M.* Dinamika chislennosti presnovodnykh planktonnykh rakoobraznykh [Dynamics of freshwater planktonic crustacea]. Moscow: Nauka, 1987. 192 p.

*Haberman Yu., Virro T., Blank K.* Zooplankton [Zooplankton]. *Pskovsko-Chudskoe ozero* [Lake Peipus]. Tartu: Eesti Loodusfoto, 2012. P. 285–306.

*Ivanter E. V., Korosov A. V.* Elementarnaya biometriya: uchebnoe posobie [Elementary biometrics: a tutorial]. Petrozavodsk: PetrGU, 2010. 104 p.

*Korovchinskii N. M., Boikova O. S., Mnatsakanova E. A.* Dolgovremennye nablyudeniya pelagicheskogo zooplanktona ozera Glubokogo i nekotorye problemy monitoringovykh issledovaniy [Long-term observations of pelagic zooplankton of Lake Glubokoye and some problems of monitoring studies]. *Trudy Gidrobiol. stantsii na Glubokom ozere* [Proceed. Lake Glubokoye Hydrobiol. Station]. Moscow: KMK, 2017. Vol. 11. P. 39–62.

*Kryuchkova N. M.* Struktura soobshchestv zooplanktona v vodoemakh raznogo tipa [Structure of zooplankton communities in reservoir of different types]. *Tr. ZINAN SSSR* [Proceed. Zool. Research Inst. Acad. Sci. USSR]. Leningrad, 1987. Vol. 165. P. 184–198.

*Kryuchkova N. M.* Troficheskie vzaimootnosheniya zoo- i fitoplanktona [Trophic relationships of zoo- and phytoplankton]. Moscow: Nauka, 1989. 124 p.

*Kryuchkova N. M., Derengovskaya R. A.* Dinamika chislennosti zooplanktona v ozerakh Naroch', Myastro, Batorino [The dynamics of zooplankton in Lakes Naroch, Myastro, Batorino]. *Ozernye ekosistemy: biol. protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody: Mater. mezhdunar. nauch. konf. (Minsk – Naroch', 20–25 sent. 1999 g.)* [Lake ecosystems: biol. processes, anthropogenic transformation, and water quality: Proceed. int. sci. conf. (Minsk – Naroch, Sept. 20–25, 1999)]. Minsk: BGU, 2000. P. 186–191.

*Kuznetsova M. A., Lavrova T. V., Bayanov N. G. K.* probleme deevtrofikatsii ozer [The problem of lakes deeutrophication]. *IX S'ezd Gidrobiol. obshchestva RAN (Tol'yatti, 18–22 sent. 2006 g.)*, tez. dokl. [IX Congress of the Hydrobiol. Society RAS (Togliatti, Russia, Sept. 18–22, 2006): Abs.]. Vol. I. Tol'yatti: IEVB RAN, 2006. 249 p.

*Kutikova L. A.* Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria (otryady Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida) [Rotifera fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (class Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida)]. Leningrad: Nauka, 1970. 744 p.

*Lazareva V. I.* Struktura i dinamika zooplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha [Zooplankton structure and dynamics in the Rybinsk Reservoir]. Moscow: KMK, 2010. 183 p.

*Lazareva V. I., Lebedeva I. M., Ovchinnikova N. K.* Izmeneniya v soobshchestve zooplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha za 40 let [Changes in the zooplankton community of the Rybinsk Reservoir for 40 years]. *Biol. vnutrennikh vod* [Inland Water Biol.]. 2001. No. 4. P. 62–73.

Lazareva V. I., Smirnova S. M. Rakoobraznye i kolovratki [Crustacea and Rotifera]. *Sostoyanie ekosistemy ozera Nero v nachale XXI veka* [The state of the ecosystem of Lake Nero at the beginning of the XXI century]. Moscow: Nauka, 2008. P. 175–211.

Makartseva E. S. Mnogoletnie izmeneniya zooplanktona ozera Krasnogo i dinamika populyatsii ego massovykh vidov [Long-term changes in the zooplankton of Lake Krasnoe and the populations dynamics of its mass species]. *Vliyaniye klimaticheskikh izmenenii i evtrofirovaniya na dinamiku planktonnykh populyatsii mezotrofnogo ozera* [Impact of climatic changes and eutrophication on the dynamics of plankton populations of a mesotrophic lake]. St. Petersburg: NII khimii SPbGU, 2003. P. 77–101.

Manuilova E. F. Vetvistosye rachki (Cladocera) fauny SSSR [Cladocera of the fauna in the USSR]. Moscow; Leningrad: Nauka, 1964. 327 p.

Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov [A procedure for studying biogeocenoses of inland reservoirs]. Moscow: Nauka, 1975. 239 p.

Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya [Guidelines for collecting and processing materials in hydrobiological research in freshwater reservoirs. Zooplankton and its production]. Leningrad, 1982. 33 p.

Mnatsakanova E. A. Izmeneniya v soobshchestve kolovratok ozera Glubokogo za 100-letnyuyu istoriyu ego izucheniya [Changes in the Rotifer community of Lake Glubokoye over the 100-year history of its study]. *Kolovratki (taksonomiya, biol. i ecol.): Tez. i mat. IV Mezhdunar. konf. po kolovratkam* [Rotifers (taxonomy, biol., and ecol.): Proceed. IV int. conf. on Rotifers]. Yaroslavl': Izd-vo YaGTU, 2005. P. 233–243.

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. T. 1. Zooplankton [A key to zooplankton and zoobenthos of freshwater bodies of European Russia. Vol. 1. Zooplankton]. Eds. V. R. Alekseev, S. Ya. Tsalolikhin. Moscow: KMK, 2010. 495 p.

Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorii [A key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territory]. St. Petersburg, 1995. Vol. 2. 628 p.

Ostapenya A. P. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie Narochanskikh ozer [Current ecological state of Lakes Naroch]. *Prirod. resursy* [Nat. Resources]. 1997. No. 3. P. 95–102.

Pesenko Yu. A. Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies]. Moscow: Nauka, 1982. 287 p.

Pidgaiko M. L. Zooplankton vodoemov Evropeiskoi chasti SSSR [Zooplankton of reservoirs of the European part of the USSR]. Moscow: Nauka, 1984. 207 p.

Pidgaiko M. L., Aleksandrov B. M., Ioffe C. I., Maksimova L. P., Petrov V. V., Savateeva E. B., Salazkin A. A. Kratkaya biologo-produktsionnaya kharakteristika vodoemov Severo-Zapada SSSR [Brief biological and production characteristics of reservoirs in the North-West of the USSR]. *Izv. GosNIORKh*. Leningrad, 1968. T. 67. Uluchsheniye i uvelicheniye kormovoi bazy dlya ryb vo vnutrennikh vodoemakh SSSR [Proceed. National Re-

search Inst. of Lake and River Fisheries. Leningrad, 1968. Vol. 67. Improvement and increase in the food supply for fish in the inland waters of the USSR]. P. 205–228.

Riv'er I. K. Kholodnovodnyi zooplankton ozer basseina Verkhnei Volgi [Cold-water zooplankton of lakes in the Upper Volga basin]. Izhevsk: Ed. Permyakov S. A., 2012. 390 p.

Rodionova N. V. Zooplankton [Zooplankton]. *Ladoga* [Ladoga]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2013. P. 377–389.

Smirnova T. S. Zooplankton ozer Vozhe i Lacha [Zooplankton in Lakes Vozhe and Lacha]. *Gidrobiol. ozer Vozhe i Lacha (v svyazi s prognozom kachestva vod, perebrasyvaemykh na yug)* [Hydrobiol. of Lakes Vozhe and Lacha (in connection with the forecast of the quality of waters transferred to the south)]. Leningrad: Nauka, 1978. P. 34–63.

Stolbunova V. N. Zooplankton ozera Pleshcheevo [Zooplankton of Lake Pleshcheevo]. Moscow: Nauka, 2006. 152 p.

Syarki M. T. Zooplankton [Zooplankton]. *Bioresursy Onezhskogo ozera* [Bioresources of Lake Onego]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. P. 54–67.

Syarki M. T. Sezonnaya dinamika zooplanktona Onezhskogo ozera (vliyaniye temperaturnogo i antropogennogo faktorov) [Seasonal dynamics of zooplankton in Lake Onego (as influenced by the temperature curve and anthropogenic factors)]. *Ekol. sostoyaniye kontinental'nykh vodoemov severnykh territorii* [Ecol. status of Northern continental reservoirs]. St. Petersburg: Nauka, VVM, 2005. P. 215–220.

Tatarinova T. A. Urovneniy rezhim [Level regime]. *Gidrol. ozer Vozhe i Lacha* [Hydrol. of Lakes Vozhe and Lacha]. Leningrad: Nauka, 1979. P. 61–70.

Zhakov L. A. Ikhtiotosenoz oz. Vozhe i ego ispol'zovanie [Ichthyocenosis of Vozhe Lake and its use]. *Gidrobiol. ozer Vozhe i Lacha (v svyazi s prognozom kachestva vod, perebrasyvaemykh na yug)* [Hydrobiol. of Lakes Vozhe and Lacha (in connection with the forecast of the quality of waters transferred to the south)]. Leningrad: Nauka, 1978. P. 179–195.

Zhdanova S. M., Sabitova R. Z., Tsvetkova M. V. Sostav i struktura zooplanktona ozera Pleshcheevo [Composition and structure of the zooplankton community in lake Pleshcheyevo]. *Trudy IBVV RAN* [Trans. IBW RAS]. 2019. Vol. 86(89). P. 34–56. doi: 10.24411/0320-3557-2019-10010

Zuyanova O. V. Izmeneniye v strukture rybnoi chasti soobshchestva ozera Vozhe [The change in the structure of the fish part of the Lake Vozhe community]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. St. Petersburg, 1994. 18 p.

Gliwicz Z. M., Jawinski A., Pawlowicz M. Cladocera densities, day-to-day variability in food selection by smelt, and the birth-rate compensation hypothesis. *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 526, no. 1. P. 171–186.

Gulati R. D., DeMott W. R. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities. *Freshwat. Biol.* 1997. Vol. 38. P. 753–768.

Hart R. C. Cladoceran periodicity patterns in relation to selected environmental factors in two cascading

warm-water reservoirs over a decade. *Hydrobiologia*. 2004. Vol. 526, no. 1. P. 99–117.

Heald E., Hrabik T. R., Li Y., Lawson Z. J., Carpenter S. R., Vander Zanden V. J. The effects of experimental whole-lake mixing on horizontal spatial patterns of fish and zooplankton. *Aquat. Sci.* 2017. Vol. 79. P. 543–556. doi: 10.1007/s00027-016-0516-x

Pothoven S. A., Fahnenstiel G. L. Spatial and temporal trends in zooplankton assemblages along a near-shore to offshore transect in southeastern Lake Michigan

from 2007 to 2012. *J. Great Lakes Res.* 2015. Vol. 41. P. 3. P. 95–103. doi: 10.1016/j.jglr.2014.09.015

Rejas D., Declerck S., Auwerkerken J., Tak P., De Meester L. Plankton dynamics in a tropical floodplain lake: fish, nutrients, and the relative importance of bottom-up and top-down control. *Freshwat. Biol.* 2005. Vol. 50. P. 52–69. doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01306.x

Received October 13, 2020

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Думнич Неля Васильевна**

руководитель, к. б. н., доцент  
Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»)  
ул. Левичева, 5, Вологда, Россия, 160012  
эл. почта: vologodniro@vniro.ru

### **Лобуничева Екатерина Валентиновна**

старший научный сотрудник лаб. водных биоресурсов,  
к. б. н.  
Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»)  
ул. Левичева, 5, Вологда, Россия, 160012  
эл. почта: lobunicheva\_ekater@mail.ru

### **Литвин Анатолий Иванович**

специалист лаб. водных биоресурсов  
Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»)  
ул. Левичева, 5, Вологда, Россия, 160012  
эл. почта: vologodniro@vniro.ru

### **Борисов Михаил Янович**

ведущий научный сотрудник лаб. водных биоресурсов,  
к. б. н.  
Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ВологодНИРО»)  
ул. Левичева, 5, Вологда, Россия, 160012  
эл. почта: myaborisov@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Dumnich, Nelya**

Vologda Branch of the Russian Federal Research Institute  
of Fisheries and Oceanography (VologodNIRO)  
5 Levicheva St., 160012 Vologda, Russia  
e-mail: vologodniro@vniro.ru

### **Lobunicheva, Ekaterina**

Vologda Branch of the Russian Federal Research Institute  
of Fisheries and Oceanography (VologodNIRO)  
5 Levicheva St., 160012 Vologda, Russia  
e-mail: lobunicheva\_ekater@mail.ru

### **Litvin, Anatoly**

Vologda Branch of the Russian Federal Research Institute  
of Fisheries and Oceanography (VologodNIRO)  
5 Levicheva St., 160012 Vologda, Russia  
e-mail: vologodniro@vniro.ru

### **Borisov, Mikhail**

Vologda Branch of the Russian Federal Research Institute  
of Fisheries and Oceanography (VologodNIRO)  
5 Levicheva St., 160012 Vologda, Russia  
e-mail: myaborisov@mail.ru

УДК 597:574.5 (268.46)

## **ФОНОВОЕ СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ РЕК ЗИМНЯЯ ЗОЛОТИЦА И СОЯНА (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) В ЗОНЕ ОПОСРЕДОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**А. П. Новоселов, Н. Ю. Матвеев**

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика  
Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН, Архангельск, Россия*

Рассмотрено видовое и таксономическое разнообразие рыб бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна (Беломорско-Кулойское плато), находящихся в зоне опосредованного воздействия разработки месторождений алмазов в Архангельской области. Выявлена их принадлежность к фаунистическим комплексам, экологические особенности питания и естественного воспроизводства (характер нерестового субстрата и способы откладки икры). Установлено, что наибольшим количеством видов в Золотицком бассейне характеризуется семейство сиговых, в Соянском бассейне – семейство карповых. Все рыбы, обитающие в бассейнах сравниваемых рек, относятся к пяти фаунистическим комплексам, с преобладанием в Золотицком бассейне видов арктического пресноводного, а в Соянском бассейне – бореально-предгорного фаунистических комплексов. По характеру питания все выявленные виды рыб относятся к четырем группам: планктофагам, бентофагам, хищникам (включая хищно-паразитический тип питания миног) и эврифагам с количественным преобладанием в обоих бассейнах эврифагов и хищников. По характеру размножения как в Золотицком, так и в Соянском бассейне наибольшее количество видов откладывают икру на каменисто-песчаных участках дна, являясь по отношению к нерестовому субстрату лито- и псаммофилами. Определено хозяйственное значение ихтиофауны, выявлены редкие виды рыб – объекты региональной Красной книги. Сведения о современном составе ихтиофауны могут быть использованы в качестве фоновых при комплексной оценке воздействия на речные экосистемы горно-обогатительных комбинатов при промышленной разработке алмазных месторождений.

**Ключевые слова:** бассейны рек Зимняя Золотица и Сояна; видовое разнообразие ихтиофауны; таксономический статус; экологические группировки; хозяйственный статус; редкие и малочисленные виды; алмазодобывающая промышленность.

### **A. P. Novoselov, N. Yu. Matveev. BACKGROUND STATE OF THE FISH FAUNA IN THE ZIMNYAYA ZOLOTITSA AND SOYANA RIVERS (ARKHANGELSK REGION) UNDER INDIRECT IMPACT FROM DIAMOND MINING**

The study focused on the species and taxonomic diversity of fish in the catchments of rivers Zimnyaya Zolotitsa and Soyana (White Sea-Kuloy plateau), exposed to indirect im-

impact from diamond mining in the Arkhangelsk Region. Faunal complex affiliations, ecological characteristics of nutrition and natural reproduction (spawning substrates and egg deposition methods) of the fish were revealed. The families with the greatest number of species were Coregonidae in the Zolotitsa catchment, and Cyprinidae in the Soyana catchment. All fish inhabiting the two catchments compared belonged to 5 faunal complexes, with a prevalence of arctic freshwater species in the Zolotitsa catchment, and boreal piedmont species in the Soyana catchment. In dietary terms, the species falls into four groups: plankton-feeders, benthos-feeders, predators (including the parasitic predation of lampreys), and euryphagous, the latter two quantitatively prevailing in both catchments. In terms of reproduction characteristics, the largest number of species in both the Zolotitsa and the Soyana catchment spawn in stony-sandy bottom areas, being litho- and psammophiles in relation to the spawning substrate. The economic value of the fish fauna was determined, and rare, regionally red-listed fish species were identified. Data on the current composition of the fish fauna can be used as background information in a comprehensive assessment of the impact of mine-and-mill operations during industrial-scale development of diamond deposits on river ecosystems.

**Key words:** Zimnyaya Zolotitsa and Soyana river catchments; fish species diversity; taxonomic status; ecological groups; economic status; rare and scarce species; diamond mining industry.

## Введение

В последние десятилетия алмазодобывающая деятельность Российской Федерации расширилась и за счет Архангельской области, на территории которой активно ведутся разведка и оценка производственных мощностей и промышленная разработка месторождений. Географические работы охватили часть территории Беломорско-Кулойского полуострова в бассейне реки Зимняя Золотица (месторождение им. М. В. Ломоносова), а также на водоразделе речных бассейнов Мегры и Сояны

(месторождение им. В. Гриба) (рис. 1). Крупнейшее в Европе месторождение алмазов им. М. В. Ломоносова было открыто в 1980 г., а с 2005 г. ОАО «Севералмаз» начало опытно-промышленную эксплуатацию месторождения открытым способом с переработкой сырья на горно-обогатительном комбинате (ГОК). Рекогносцировочные исследования водных экосистем, расположенных на Верхотинской геологоразведочной площади, были начаты в 2002 г. и велись до 2004 г. В 2009 г. началась промышленная разработка месторождения им. В. Гриба с введением в строй ГОКа в 2013 г.

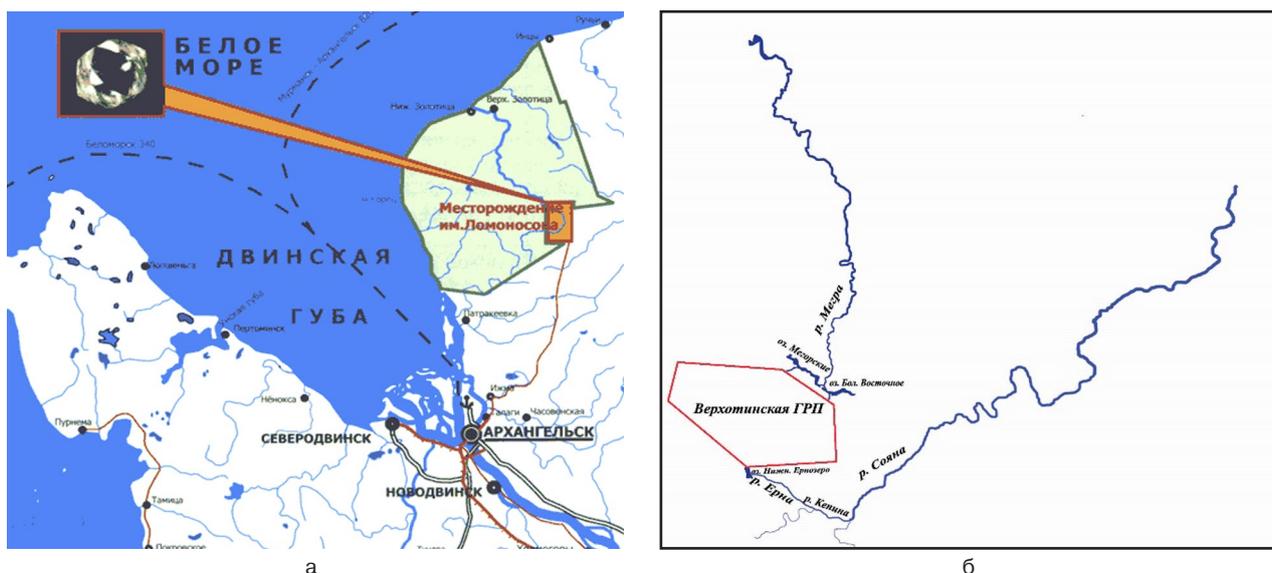


Рис. 1. Месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова (а) и В. Гриба (б) в Архангельской области  
 Fig. 1. Diamond deposits named after M. V. Lomonosov (a) and V. Grib (б) in the Arkhangelsk Region

Не секрет, что деятельность предприятий алмазодобывающей отрасли оказывает существенное негативное воздействие на окружающую природную среду и неизбежно приводит к трансформации природных систем, в том числе и водных экосистем [MacFeeters, 1995; Поздняков, Вольперт, 2008; Вольперт, 2012; Мышляков и др., 2015 и др.]. Основными формами воздействия алмазодобывающей промышленности на окружающую природу в условиях многолетней мерзлоты являются загрязнение водной среды, воздушного бассейна и отторжение земель. Антропогенное воздействие сопровождается нарушением и загрязнением значительных площадей природных ландшафтов, при этом большую роль играет создание хвостохранилищ, отвалов пустых пород, разработка россыпных месторождений [Мышляков и др., 2015].

Кроме того, физическое (пылевое) и химическое загрязнение верховий рек, трансформированных в ходе обустройства месторождений, неизбежно сказывается на состоянии их вод вниз по течению. Это меняет условия среды обитания гидробионтов, уровень развития кормовой базы рыб и непосредственно видовой состав и численность рыб. Рыбное население рек испытывает дополнительный прессинг рыбаков-любителей в силу возрастающей доступности водотоков и озер для человека. В этом случае отрицательное антропогенное воздействие на водную биоту носит в основном локальный характер и вызвано геологоразведочными работами, лесозаготовками и деятельностью горно-обогатительных комбинатов, в то же время его косвенное влияние имеет, как правило, обширный характер.

Часть бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна попадает в зону прямого или опосредованного воздействия деятельности горно-обогатительных комбинатов, и представляемые материалы могут быть использованы в качестве фоновых данных при оценке антропогенного воздействия на речные экосистемы. Информация о составе ихтиофауны рек Зимняя Золотица и Сояна может быть использована при разработке общероссийских и региональных программ по изучению и сохранению биологического разнообразия [Соколов, Решетников, 1997; Решетников, Шатуновский, 1997]. Кроме того, уточненные данные по составу ихтиофауны рек в различных регионах (разработка региональных каталогов рыб) могут служить основой при составлении полного списка рыб в континентальных водоемах России. В этой связи результаты исследования фонового состояния видového и экологического разнообразия

ихтиофауны бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна в условиях техногенной нагрузки не лишены актуальности и представляют определенный научный интерес. Полученные данные могут быть полезны при комплексной оценке многофакторного воздействия алмазодобывающей промышленности на природные водные экосистемы.

Целью исследования явилось рассмотрение видového состава, таксономического статуса, экологического разнообразия и хозяйственного значения ихтиофауны бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна.

**Р. Зимняя Золотица** берет начало из Золотицких озер и впадает в пролив Горло Белого моря. Общая протяженность реки 177 км, площадь водосбора 1950 км<sup>2</sup> [Гидрологическая..., 1972]. На водосборе насчитывается 240 озер общей площадью 22,6 км<sup>2</sup> (озерность водосбора – 1,2 %). Залесенность водосбора в 60-е гг. прошлого столетия составляла примерно 80 %. Заболоченность увеличивается от 15 % в истоках до более 20 % в устьевой части. Густота речной сети в верховьях – 0,6–0,8 км/км<sup>2</sup>, в среднем течении снижается до 0,4–0,5 км/км<sup>2</sup>, в низовьях вновь возрастает до 0,5–0,6 км/км<sup>2</sup>.

Ширина русла в меженный период составляет: в устье – 150–250 м; в нижнем течении – 40–60 м; в среднем течении – 25–30 м; в верховьях – 10–15 м. Глубина реки на перекатах изменяется от 0,05 до 0,80 м, на плесах варьирует от 0,2 до 1,5 м, на ямах достигает 5 м. Скорость течения на плесах изменяется от 0,1 до 0,3 м/с, доходя на перекатах до 2,0 м/с (рис. 2). Средний годовой расход воды в реке – 23,7 м<sup>3</sup>/с. Гидрологический режим обычен для рек, зарегулированных озерами на водосборе [Ильина, Грахов, 1987; Тучина, 2007], и характеризуется высоким весенним половодьем (апрель–май) с медленным снижением уровней воды (до начала июля), короткой летней меженью (июль–август). В августе–октябре часто отмечаются осенние дождевые паводки. Наиболее низкие уровни воды характерны для периода зимней межени (январь–март).

Р. Зимняя Золотица относится к водотокам преимущественно снегового питания, доля подземных вод незначительна. Вода в реке по химическому составу является гидрокарбонатно-кальциевой. Минерализация воды варьирует от 17–30 мг/дм<sup>3</sup> в период весеннего половодья до 220–260 мг/дм<sup>3</sup> в меженные периоды. Содержание взвешенных веществ изменяется от 1,4 г/м<sup>3</sup> в период зимней межени до 33 г/м<sup>3</sup> в период весеннего половодья, составляя в летнюю межень 7,7 г/м<sup>3</sup>. Кислород-



а



б

Рис. 2. Плесовый участок (а) и быстроток (б) в верхнем течении р. Зимняя Золотица  
 Fig. 2. Alluvial area (a) and rapid flow (б) in the upper reaches of the Zimnyaya Zolotitsa River



а



б

Рис. 3. Наиболее характерные перекатные (а) и плесовые (б) биотопы в р. Сояна  
 Fig. 3. Distinctive rolling (a) and alluvial (б) biotopes of the Soyana River

ный режим удовлетворительный в течение всего года.

**Р. Сояна** образуется от слияния рек Кепина и Котуга. Является левобережным притоком р. Кулой и имеет длину водотока, равную 140 км. Впадает в нее на 54 км от устья. Площадь водосбора составляет 5860 км<sup>2</sup>. На ней расположено 692 озера общей площадью водного зеркала 58,6 км<sup>2</sup>. Принимает в основное русло 96 притоков общей протяженностью 270 км [Гидрологическая..., 1972].

Русло в основном прямое, песчано-каменное, устойчивое, частично заросшее водной растительностью. Наиболее характерные биотопы представлены на рис. 3. Долина трапециевидная, достигающая в нижнем течении реки ширины 8 км. Ее склоны высотой 25–30 м пологие, сложенные песчаными грунтами и по-

росшие хвойным лесом. Пойма водотока двусторонняя, при этом левобережная – неровная, заболоченная, поросшая лесом и кустарником, правобережная – луговая. Питание реки смешанное. Весенний подъем уровня воды начинается в первой декаде мая, при ранней весне – во второй декаде апреля, при поздней – в третьей декаде мая. Весеннее половодье длится от 30 до 70 дней, амплитуда годового колебания уровня воды составляет от 1,8 до 6,5 м [Справочник..., 1934; Онищук, 2007].

### Материалы и методы

Сбор материалов проводился в период с 2000 по 2020 г. в границах бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна, включая их русловые части, основные притоки, а также озера на пло-

щади водосборов. Вылов рыбы осуществлялся различными контрольными орудиями лова – закидными неводами, ставными сетями с разным размером ячеи и крючковыми снастями. Кроме результатов собственных исследований были использованы литературные источники, а также архивные материалы. При рассмотрении ихтиофауны учитывались все виды рыб, как постоянно обитающие в водоемах бассейна, так и временно мигрирующие в системы рек Зимняя Золотица и Сояна для воспроизводства (анадромные виды). При таксономическом анализе видовой состав рыбообразных и рыб выверен по справочному пособию «Рыбы России в системе мировой фауны» [Романов, 2010], список рыб приведен в соответствии с монографией «Рыбы в заповедниках России» [2010], отнесение рыб к пресноводным и морским фаунистическим комплексам проводилось по Г. В. Никольскому [1980]. Ареалы рыб, а также характер их питания, размножения, способы и периоды откладки икры рассмотрены в соответствии с «Атласом пресноводных рыб России» [2003].

## Результаты и обсуждение

Известно, что биологическое разнообразие водных экосистем включает в себя самые различные организмы – от микроскопических бактерий до крупных птиц и млекопитающих, в том числе и рыб. При этом в качестве одного из количественных показателей используется их видовой состав (количество видов, включающее подвиды и экологические формы). Рассмотрение систематики рыб, принадлежности их к фаунистическим комплексам и экологии обитания представляет определенный интерес при решении ряда научных и практических задач, связанных с рациональным использованием естественных водоемов [Новоселов и др., 2001].

### *Рыбное население бассейна рек Зимняя Золотица и Сояна*

Состав ихтиофауны бассейнов обследованных рек представлен двумя классами: миногами – *Cephalaspidomorphi (Petromyzontes)* и костными рыбами – *Osteichthyes*, которые относятся к 13 семействам. Перечень видов рыб, обитающих в реках Зимняя Золотица и Сояна, их притоках и озерах на площади речных бассейнов, содержит 23 вида и составлен на основе архивных материалов ФГБУ «Севрыбвод», ПИНРО, литературных источников [Новоселов и др., 2001, 2013; Студенов и др., 2005; Новосе-

лов, 2010] и результатов собственных исследований (табл.). В основу систематического анализа ихтиофауны анализируемых рек положен «Атлас пресноводных рыб России» [2003].

**В систематическом плане** оба речных бассейна, обладая общим генезисом развития речных систем на Беломорско-Кулойском плато, существенно не различаются по количеству семейств обитающих в них рыб. Исключение составляет отсутствие в составе ихтиофауны р. Сояна семейства корюшковых. Это объясняется тем, что проходная азиатская корюшка, поднимающаяся на нерест в низовье р. Зимняя Золотица, не доходит до р. Сояна, которая является притоком 1-го порядка р. Кулой, впадающей в Белое море. Этим же объясняется и отличие в количественном составе семейства сиговых сравниваемых речных бассейнов. Если в бассейне р. Зимняя Золотица это семейство характеризуется наибольшим количеством видов (5, или 21,7 % – европейская ряпушка, нельма, пелядь и два подвида сига) (рис. 4, а), то в бассейне р. Сояна сиговые представлены лишь одним видом (5,6 %), а именно сигом-пыжьяном (рис. 4, б).

Вторым по количеству видов является семейство карповых, представленное плотвой, язем, ельцом и обыкновенным (речным) гольяном. И если в бассейне р. Зимняя Золотица карповые являются субдоминантной по количеству видов группой (4 вида, или 17,4 %), то в бассейне р. Сояна они доминируют, составляя 4 вида, или 22,2 % (почти четверть всех видов рыб). Семейство лососевых включает несколько меньшее количество видов (3 – атлантический лосось, кумжа и горбуша), составляя в бассейнах анализируемых рек от 13 % (Золотица) до 16,6 % (Сояна). Представители остальных семейств отмечены в обоих речных бассейнах примерно в равном количестве (см. рис. 4, а, б).

**В экологическом плане** минога, семга, кумжа, горбуша и азиатская корюшка являются проходными видами, поднимающимися на различные расстояния по рекам и их притокам к местам расположения нерестилищ. Нельма относится к полупроходным видам, миграции которых ограничены только бассейном р. Зимняя Золотица, в бассейне р. Сояна она не отмечена. Туводные рыбы (все остальные) являются типично пресноводными видами (за исключением речной камбалы), жизненный цикл которых полностью приурочен к определенным речным биотопам. Речная камбала, обычная в низовьях рек, поднимается иногда по ним на значительные расстояния [Пономарев и др., 1998].

Видовой состав и таксономическое разнообразие рыб в водоемах бассейнов рек Зимняя Золотица и Сояна  
 Species composition and taxonomic diversity of fish in the water bodies of the Zimnyaya Zolotitsa and Soyana Rivers basins

Семейства, виды, подвиды и экологические формы Families, species, subspecies, and ecological forms	З. Золо- тица Z. Zolo- titsa	Сояна Soyana
<b>Сем. Petromyzontidae – миноговые</b> <b>Fam. Petromyzontidae</b>		
1. Камчатская минога – <i>Lethenteron camtchaticum</i> (Tilesius, 1811)	+	+
<b>Сем. Salmonidae – лососевые</b> <b>Fam. Salmonidae</b>		
2. Атлантический лосось (семга) – <i>Salmo salar</i> Linnaeus, 1758	+	+
3. Кумжа – <i>Salmo trutta</i> Linnaeus, 1758	+	+
4. Горбуша – <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792)	+	+
<b>Сем. Coregonidae – сиговые</b> <b>Fam. Coregonidae</b>		
5. Европейский сиг – <i>Coregonus lavaretus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758)	+	-
6. Сиг-пыжьян – <i>C. l. pidschian</i> (Gmelin, 1788)	+	+
7. Европейская ряпушка – <i>C. albula</i> (Linnaeus, 1758)	+	-
8. Пелядь – <i>C. peled</i> (Gmelin, 1789)	+	-
9. Нельма – <i>Stenodus leucichthys nelma</i> (Pallas, 1773)	+	-
<b>Сем. Thymallidae – хариусовые</b> <b>Fam. Thymallidae</b>		
10. Европейский хариус – <i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Osmeridae – корюшковые</b> <b>Fam. Osmeridae</b>		
11. Азиатская зубастая корюшка – <i>Osmerus mordax</i> (Mitchill, 1815)	+	-
<b>Сем. Esocidae – щуковые</b> <b>Fam. Esocidae</b>		
12. Щука – <i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Сем. Cyprinidae – карповые</b> <b>Fam. Cyprinidae</b>		
13. Плотва – <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
14. Язь – <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
15. Елец – <i>L. leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
16. Обыкновенный голян – <i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Balitoridae – балиториевые</b> <b>Fam. Balitoridae</b>		
17. Усатый голец – <i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Lotidae – налимовые</b> <b>Fam. Lotidae</b>		
18. Налим – <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Gasterosteidae – колюшковые</b> <b>Fam. Gasterosteidae</b>		
19. Девятиглая колюшка – <i>Pungitius pungitius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Percidae – окуневые</b> <b>Fam. Percidae</b>		
20. Речной окунь – <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	+	+
21. Обыкновенный ерш – <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
<b>Сем. Cottidae – керчаковые</b> <b>Fam. Cottidae</b>		
22. Обыкновенный подкаменщик – <i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758	+	+
<b>Сем. Pleuronectidae – камбаловые</b> <b>Fam. Pleuronectidae</b>		
23. Речная камбала – <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+
Всего видов: Total:	23	18

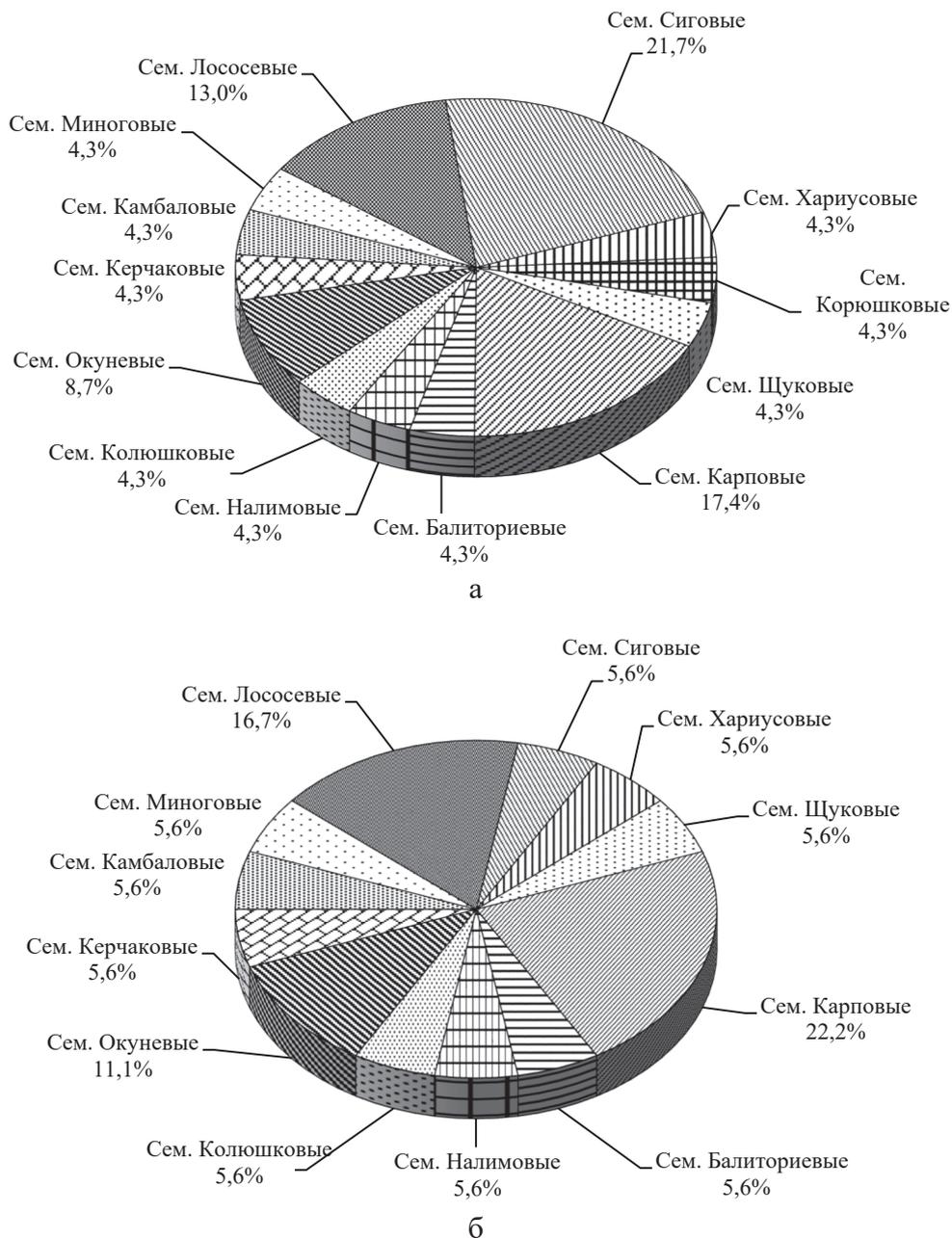


Рис. 4. Доля рыб разных систематических групп в составе пресноводной ихтиофауны бассейнов рек Зимняя Золотица (а) и Сояна (б)

Fig. 4. The proportion of fish of different taxonomic groups in the freshwater ichthyofauna of the Zimnyaya Zolotitsa (a) and Soyana (b) Rivers basins

**Фаунистические комплексы.** Всех рыб, обитающих в бассейнах обследованных рек, по классификации Г. В. Никольского [1980] можно отнести к пяти фаунистическим комплексам. В видовом отношении ихтиофауна сравниваемых речных бассейнов существенно отличается по составу доминирующих комплексов. В Золотицком бассейне наибольшее число видов (8, или 34,8 %) относится к арктическому пресноводному комплексу. Он представ-

лен миногой, европейской ряпушкой, сига́ми (среднетычинковый сиг и сиг-пыжьян), нельмой, пелядь, налимом и азиатской зубастой корюшкой. Чуть меньшее количество (7 видов, или 30,4 %) входит в бореальный предгорный фаунистический комплекс, а именно атлантический лосось, горбуша, кумжа, европейский хариус, речной голяк, усатый голец и обыкновенный подкаменщик. Бореальный равнинный комплекс включает 6 видов (26,1 %), представ-

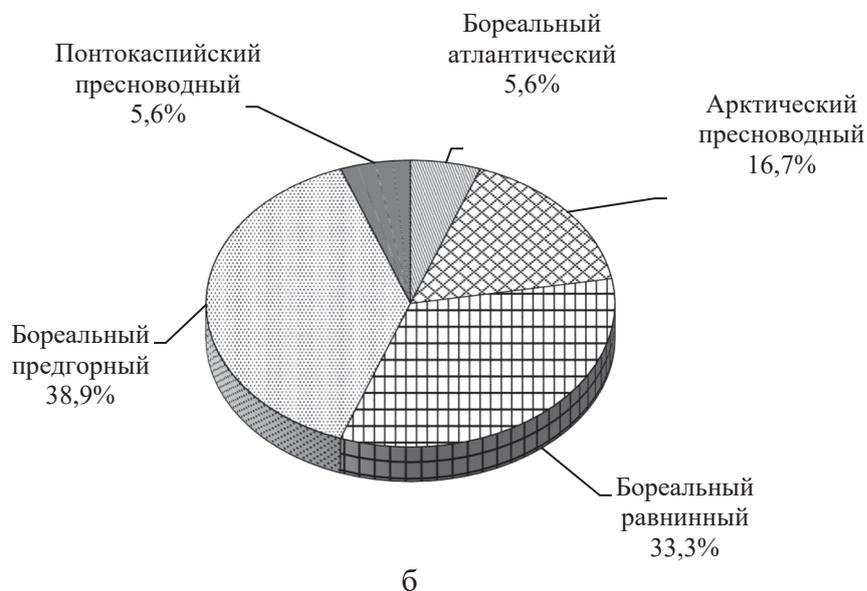
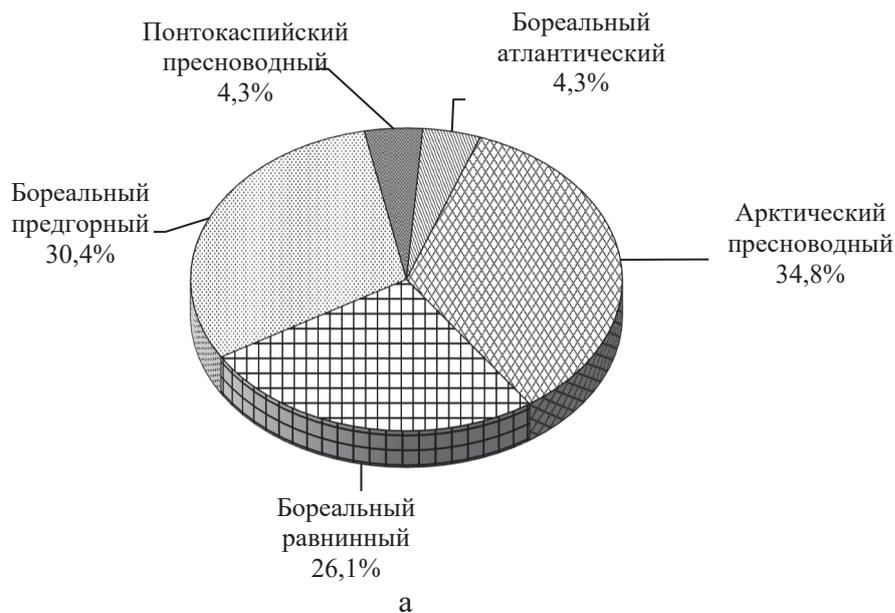


Рис. 5. Доля рыб различных фаунистических комплексов в составе ихтиофауны бассейнов рек Зимняя Золотица (а) и Сояна (б)

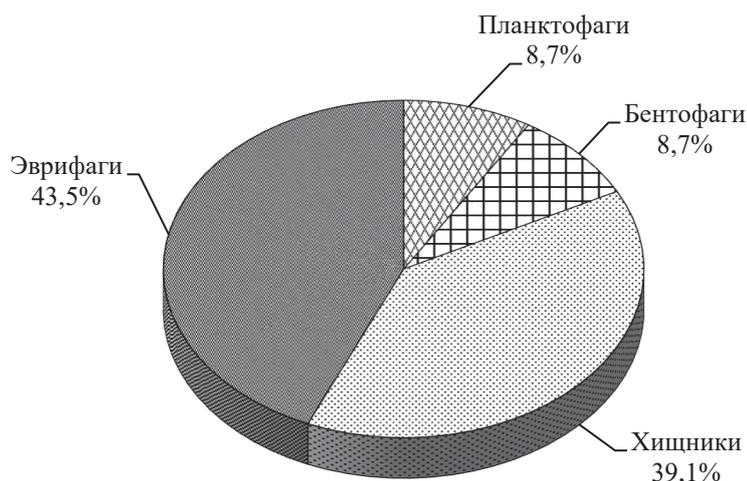
Fig. 5. The proportion of fish of various faunal complexes in the ichthyofauna of the Zimnyaya Zolotitsa (a) and Soyana (б) Rivers basins

ленных щукой, плотвой, ельцом, язем, ершом и окунем. В понто-каспийский пресноводный комплекс входит лишь один вид (4,3 %) – девятиглая колюшка. Единственный морской фаунистический комплекс – бореальный атлантический – также включает лишь один вид (4,3 %), а именно речную камбалу (рис. 5, а).

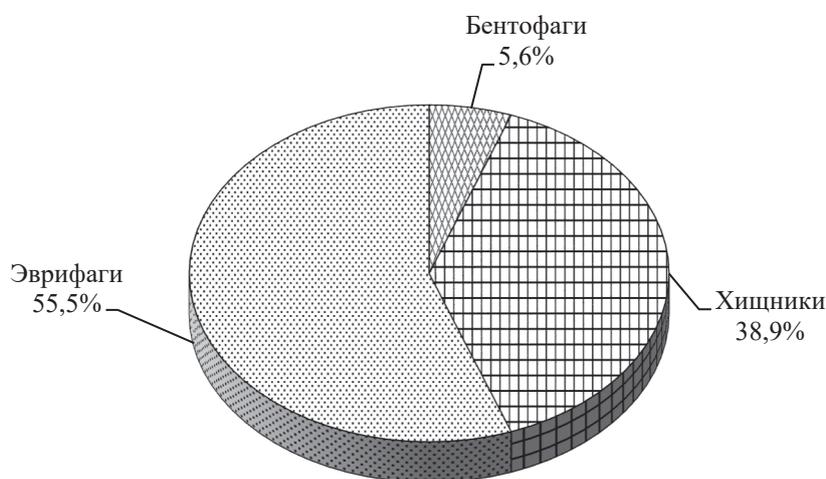
В Соянском бассейне по количеству видов доминируют бореальный предгорный (7 видов, или 38,9 %) и бореальный равнинный (6 видов, или 33,3 %) фаунистические комплексы. Арктический пресноводный комплекс значительно

уступает таковому в бассейне р. Золотица и состоит лишь из трех видов – тихоокеанской миноги, сига-пыжьяна и налима. По одному виду (по 5,6 %) включают понто-каспийский пресноводный и бореальный атлантический фаунистические комплексы (рис. 5, б). Видовой состав комплексов в обоих сравниваемых речных бассейнах идентичный.

**По характеру питания** все виды, обитающие в водоемах бассейна р. Зимняя Золотица, можно отнести к четырем группам: планктофагам, бентофагам, хищникам (включающим



а



б

Рис. 6. Доля рыб с разным характером питания в водоемах бассейнов рек Зимняя Золотица (а) и Сояна (б)

Fig. 6. The proportion of fish with different feeding patterns in the basins of the Zimnyaya Zolotitsa (a) and Soyana (б) Rivers

хищно-паразитический тип питания миног) и эврифагам (рис. 6, а).

Типично планктонное питание имеют лишь два вида рыб (8,7%), обитающих в озерах рассматриваемой территории. Это европейская ряпушка и пелядь. В то же время следует иметь в виду, что мелкие формы зоопланктона потребляет молодь практически всех видов рыб на ранних этапах онтогенеза. Рыбами с преимущественно бентосным характером питания также являются два вида сига, составляющие в количественном отношении 8,7% от всей ихтиофауны и представленные среднететчинковым европейским сигом и сибирским си-

гом-пыжьяном. Хищным характером питания характеризуются 9 видов рыб, что составляет более трети (39,1%) всего состава ихтиофауны. В основном это проходные и полупроходные хищники – атлантический лосось, кумжа, акклиматизированная горбуша, азиатская зубастая корюшка и нельма. Сюда же относится камчатская минога (с хищно-паразитическим типом питания), а также часть туводных хищных рыб (щука, налим и окунь). Самую большую группу – 10 видов (43,5%) – составляют эврифаги, представляющие собой рыб, имеющих широкий пищевой спектр с преимущественным потреблением того или иного вида корма.

В водоемах бассейна р. Сояна не отмечены рыбы-планктофаги, бентофаги представлены лишь одним видом – сигом (5,6 %). Среди рыб, имеющих хищный характер питания (7 видов, или 38,9 %), отсутствуют нельма и азиатская зубастая корюшка. Количество рыб-эврифагов как по количеству, так и по видовому составу близко к таковому в бассейне р. Зимняя Золотица (10 видов, или 55,5 %) (см. рис. 6, б).

**По характеру размножения** подавляющее большинство рыб как в речных, так и в озерных условиях относятся к видам, использующим

для откладки икры определенный субстрат. Наибольшее количество видов (11, или 47,8 % от всех рыб) откладывают икру на каменистых участках дна – так называемые литофилы (рис. 7, а). Из проходных рыб к ним относятся атлантический лосось, кумжа, акклиматизированная горбуша, полупроходная нельма, а также ряд речных (сиг-пыжьян, пелядь, европейский хариус, речной голянь и обыкновенный подкаменщик) и озерных (европейская ряпушка, а также среднетычинковый сиг). К видам-псаммофилам, откладывающим икру на песча-

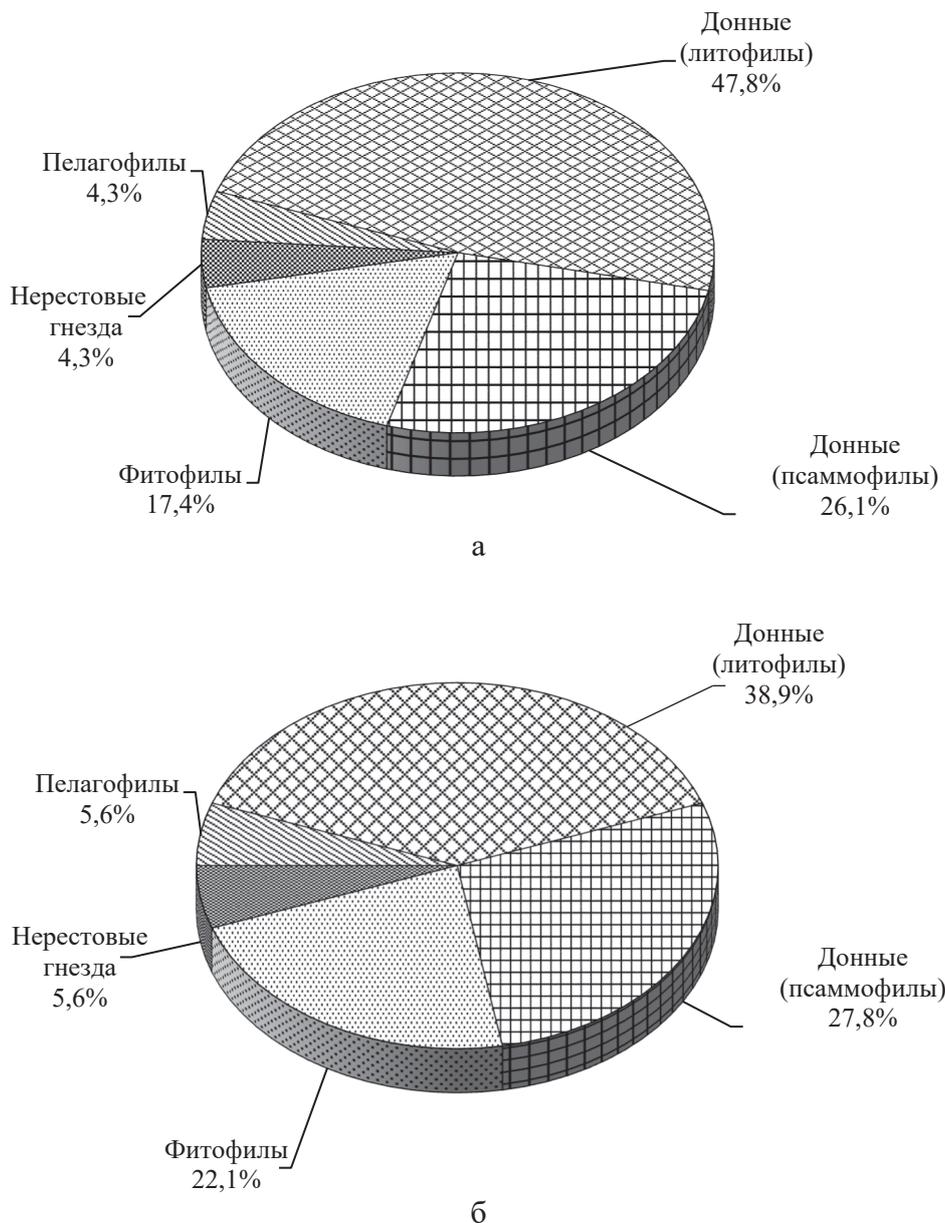


Рис. 7. Доля рыб с разным характером размножения (по предпочитаемому субстрату) в водоемах бассейнов рек Зимняя Золотица (а) и Сояна (б)

Fig. 7. The proportion of fish with different breeding patterns (according to the preferred substrate) in the basins of the Zimnyaya Zolotitsa (a) and Soyana (b) Rivers

ных участках дна, относятся 6 видов (26,1 %). Они также включают как проходных (камчатская минога, азиатская корюшка), так и туводных (налим, ерш, елец, усатый голец). Значительно меньшим количеством видов (4, или 17,4 %) представлены рыбы, предпочитающие откладывать икру на растительный субстрат. Это весенне-нерестующие фитофильные виды – щука, плотва, язь и окунь. Группа пелагофилов включает один вид (4,3 %), откладывающий икру в толщу воды (речная камбала). Также один вид (4,3 %) устраивает для откладки икры гнезда (девятииглая колюшка).

В водоемах Солянского бассейна большинство обитающих здесь видов являются донными литофилами (7 видов, или 38,9 %). На песчаных участках дна откладывают икру 5 видов рыб (27,8 %). Аналогично Золотицкому бассейну к фитофилам относятся те же 4 вида (22,1 %) и по 1 виду (по 5,6 %) откладывают пелагическую икру (речная камбала) и строят гнезда (девятииглая колюшка) (см. рис. 7, б).

**В хозяйственном отношении** все виды рыб, обитающие в водоемах бассейнов рек Зимняя Золотица и Соляна, могут быть отнесены к следующим категориям.

Ценные промысловые виды – это рыбы, имеющие повышенный спрос в силу высоких потребительских качеств. В численном выражении они составляют около половины (10 видов, или 43,5 %) в Золотицком бассейне и более четверти (5 видов, или 27,8 %) всего состава ихтиофауны сравниваемых бассейнов. Прежде всего это рыбы лососево-сигового комплекса. Лососевые рыбы представлены проходными видами – *атлантическим лососем (семгой)*, *кумжей* и *дальневосточной горбушей*. Из сиговых рыб промыслом используются *сиги*, озерная форма *пеляди* (в оз. Гаврилово бассейна р. Летняя – притока р. З. Золотица) и озерная *европейская ряпушка* в бассейне той же реки. В качестве прилова отмечается полупроходная *нельма* (только в бассейне Золотицы). На приустьевом участке реки З. Золотица промыслом может активно использоваться нерестовое стадо *азиатской зубастой корюшки* и проходной *камчатской миноги*.

Второстепенные промысловые рыбы. Составляют несколько меньшую долю (7 видов, или 30,4 %) в Золотицком бассейне, а в Солянском несколько большую (7 видов, или 28,9 %), чем ценные промысловые виды. К ним прежде всего можно отнести весенне-нерестующие частичковые виды – *щуку*, *язя*, *плотву* и *окуня*. В осенне-зимний период некоторое промысловое значение в устьевых частях рек имеет *речная камбала*, в озерах – *налим*.

В мелкочейные орудия лова повсеместно прилавливается *ерш*, который может использоваться для сушения.

Непромысловые рыбы. К ним относится группа видов (4, или 17,4 %, в Золотицком и 4, или 22,1 %, в Солянском бассейне), не представляющая интереса ввиду малочисленности объектов или в силу их низкой гастрономической ценности – *речной голянь*, *девятииглая колюшка*, *усатый голец* и *обыкновенный подкаменщик*.

Объекты спортивно-любительского рыболовства. Составляют незначительную долю (лишь 2 вида и соответственно 8,7 и 11,2 %) в сравниваемых бассейнах, но в то же время играют значительную роль в стимулировании и развитии рекреационных аспектов рыболовства. Излюбленным объектом спортивно-любительского рыболовства на крючковую снасть является широко распространенный *европейский хариус*. Менее популярным является *обыкновенный елец*.

Среди ихтиофауны анализируемых водных бассейнов нет видов рыб, резко сокращающих свою численность и ареалы и находящихся на грани исчезновения. В то же время в список рыб Красной книги Архангельской области [2020] по формальному признаку попадает нельма р. Зимняя Золотица с категорией 7, поскольку присутствие видов в Красной книге Российской Федерации обязывает внесение их и в региональные Красные книги тех субъектов Федерации, на территории которых они обитают. Однако следует иметь в виду, что этому виду на территории Архангельской области исчезновение не угрожает и его современное состояние не вызывает опасений.

## Заключение

Представлены видовой состав, таксономическое разнообразие и экологические особенности ихтиофауны бассейнов рек Зимняя Золотица и Соляна, протекающих на площадях разработок алмазоносных месторождений в Архангельской области. Ихтиофауна указанных рек характеризуется достаточно широким видовым разнообразием. Общий список рыбообразных и рыб включает 23 вида солоноватоводных (речная камбала) и пресноводных (речных, озерных и озерно-речных) рыб, относящихся к 13 семействам в бассейне р. Зимняя Золотица и 18 видов из 12 семейств в бассейне р. Соляна. Среди них наибольшим числом видов в Золотицком бассейне характеризуется семейство сиговых, в Солянском бассейне – семейство карповых. Все рыбы, обитаю-

щие в бассейнах сравниваемых рек, относятся к пяти фаунистическим комплексам, с преобладанием в Золотицком бассейне видов арктического пресноводного (34,8 %), в Соянском бассейне – бореального предгорного (38,9 %) фаунистических комплексов.

По характеру питания все выявленные виды рыб относятся к четырем группам: планктофагам (2 вида), бентофагам (2), хищникам (9 видов, включая много с хищно-паразитическим типом питания) и эврифагам (10 видов), с количественным преобладанием в обоих бассейнах эврифагов (соответственно 43,5 и 55,5 %) и хищников (соответственно 39,1 и 38,9 %). По характеру размножения как в Золотицком, так и в Соянском бассейне наибольшее количество видов, соответственно 17 из 23 (73,9 %) и 12 из 18 (66,7 %), откладывают икру на каменисто-песчаных участках дна – так называемые лито- и псаммофилы. В хозяйственном отношении все виды рыб, обитающие в рассматриваемых водоемах, относятся к категориям ценных промысловых рыб (соответственно 43,5 и 27,8 %), второстепенных промысловых рыб (соответственно 30,5 и 38,9 %) и объектов спортивно-любительского рыболовства (соответственно 8,7 и 11,2 %). Реки Зимняя Золотица и Сояна, в которых по составу ихтиофауны более 80 % рыб являются хозяйственно используемыми видами, отнесены к высшей категории водотоков рыбохозяйственного значения (семужье-нерестовым).

Материалы исследования могут быть использованы в качестве фоновых при проведении комплексной оценки воздействия алмазодобыток на экосистемы рек Зимняя Золотица и Сояна.

*Авторы выражают благодарность ведущей лабораторией болотных экосистем ФИЦКИА УрО РАН С. Б. Селяниной за помощь в организации полевых исследований.*

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания по теме «Исследование закономерностей формирования пресноводной ихтиофауны Европейского Северо-Востока России в условиях меняющегося климата и воздействия антропогенных факторов» (№ гос. регистрации АААА-А19-119011690119-9) и при финансовой поддержке гранта РФФИ – Арктика, проект № 18-05-60151 «Влияние алмазодобывающей деятельности на состояние биогеоценозов Арктической зоны РФ (на примере Европейского Севера)».*

## Литература

*Атлас пресноводных рыб России. Т. 1 / Под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2003. 379 с.*

*Вольперт Я. Л. Трансформация наземных экосистем в результате воздействия алмазодобывающей промышленности // Успехи современного естествознания. 2012. № 11(1). С. 80–82.*

*Гидрологическая изученность. Ресурсы поверхностных вод СССР. Северный край. Л.: Гидрометеопиздат, 1972. Т. 3. 612 с.*

*Ильина Л. Л., Грахов А. К. Реки Севера. Л.: Гидрометеопиздат, 1987. 128 с.*

*Красная книга Архангельской области. Архангельск: САФУ, 2020. 478 с.*

*Мышляков С. Г., Скачкова А. С., Габрашитова А. В., Сизов О. С., Горбачева Е. Н. Космический мониторинг антропогенного воздействия в районе алмазодобывающей деятельности (на примере Мирнинского ГОК) // Геоматика. № 4. 2015. С. 42–52.*

*Никольский Г. В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищ. пром., 1980. 182 с.*

*Новоселов А. П. Биологическое разнообразие ихтиофауны крупных рек юго-восточного побережья Белого моря (Архангельская область) // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. СПб., 2010. С. 128–130.*

*Новоселов А. П., Студенов И. И., Дерез В. П. Состав ихтиофауны как показатель видового разнообразия рыб реки Зимняя Золотица (Зимний берег Белого моря) // Малые реки: современное экологическое состояние, актуальные проблемы. Тольятти, 2001. С. 151.*

*Новоселов А. П., Студенов И. И., Павленко В. И. Экологическое разнообразие ихтиофауны пресноводных водоемов Беломорско-Кулойского полуострова (Архангельская область) // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4(12). С. 70–80.*

*Онищук Р. П. Сояна // Поморская энциклопедия. Т. 2. Природа Архангельского Севера / Гл. ред. Н. М. Бызова. Архангельск: ПГУ, 2007. С. 486.*

*Поздняков А. И., Вольперт Я. Л. Анализ воздействия алмазодобывающей промышленности на окружающую среду Северо-Западной Якутии // Проблемы региональной экологии. 2008. № 2. С. 24–28.*

*Пономарев В. И., Захаров А. Б., Шалаев С. Н. О нахождении речной камбалы *Platichthys flesus* L. в реке Печоре // Вопросы ихтиологии. 1998. Т. 38, № 2. С. 278–279.*

*Решетников Ю. С., Шатуновский М. И. Теоретические основы и практические аспекты мониторинга пресноводных экосистем // Мониторинг биоразнообразия. М.: Наука, 1997. С. 26–32.*

*Романов В. И. Рыбы России в системе мировой фауны. Томск, 2010. 275 с.*

*Рыбы в заповедниках России / Под ред. Ю. С. Решетникова. Т. 1. Пресноводные рыбы. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 625 с.*

*Соколов В. Е., Решетников Ю. С. Мониторинг биоразнообразия в России // Мониторинг биоразнообразия. М.: Наука, 1997. С. 8–14.*

Справочник по водным ресурсам СССР. Т. 2. Л.: Гос. гидрол. ин-т и Центр. бюро водного кадастра, 1934. 74 с.

Студенов И. И., Новоселов А. П., Иванов А. К., Устюжнинский Г. М., Боркичев В. С. Рыбохозяйственная характеристика речной системы Зимней Золотицы в зоне обустройства месторождения алмазов им. М. В. Ломоносова и разработка мероприятий по снижению ущерба рыбным ресурсам // Матер. отчетной сессии Сев. отд. ПИНРО (по итогам науч.-ис-

след. работ 2002–2003 гг.). Архангельск, 2005. С. 190–213.

Тучина О. Р. Золотица // Поморская энциклопедия. Т. 2. Природа Архангельского Севера / Гл. ред. Н. М. Бызова. Архангельск: ПГУ, 2007. С. 190.

MacFeeters S. K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water feature // *Int. J. Remote Sens.* 1995. Vol. 17, no. 7. P. 1425–1432.

Поступила в редакцию 18.03.2021

## References

*Atlas presnovodnykh ryb Rossii* [Atlas of freshwater fish of Russia]. Vol. 1. Ed. Yu. S. Reshetnikov. Moscow: Nauka, 2003. 379 p.

*Gidrologicheskaya izuchennost'. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Severnyi krai* [Hydrological coverage. Surface water resources in the USSR. The North]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. Vol. 3. 612 p.

Il'ina L. L., Grakhov A. K. Reki Severa [Rivers in the North]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 128 p.

*Krasnaya kniga Arkhangel'skoi oblasti* [Red Data Book of the Arkhangel'sk Region]. Arkhangel'sk: SAFU, 2020. 478 p.

Myshlyakov S. G., Skachkova A. S., Gabrashitova A. V., Sizov O. S., Gorbacheva E. N. Kosmicheskii monitoring antropogennogo vozdeistviya v raionealmazodobyvayushchei deyatel'nosti (na primere Mirninskogo GOK) [Space monitoring of man-induced impact in the area of diamond mining (on the example of the Mirninsky MPP)]. *Geomatika* [Geomatics]. 2015. No. 4. P. 42–52.

Nikol'skii G. V. Struktura vida i zakonomernosti izmenchivosti ryb [The species structure and patterns of fish variability]. Moscow: Pishch. prom., 1980. 182 p.

Novoselov A. P. Biologicheskoe raznoobrazie ikhtiofauny krupnykh rek yugo-vostochnogo poberezh'ya Belogo morya (Arkhangel'skaya oblast') [Biological diversity of the ichthyofauna of large rivers in the southeastern coast of the White Sea (Arkhangel'sk Region)]. *Probl. izuch., ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodn. resursov Belogo morya* [Problems of study, rational use, and protection of natural resources of the White Sea]. St. Petersburg, 2010. P. 128–130.

Novoselov A. P., Studenov I. I., Derets V. P. Sostav ikhtiofauny kak pokazatel' vidovogo raznoobraziya ryb reki Zimnyaya Zolotitsa (Zimnii bereg Belogo morya) [The composition of ichthyofauna as an indicator of the fish species diversity of the Zimnyaya Zolotitsa River (Zimniy (Winter) coast of the White Sea)]. *Malye reki: sovr. ecol. sostoyanie, aktual'nye probl.* [Small rivers: Current ecol. state and topical probl.]. Tol'yatti, 2001. P. 151.

Novoselov A. P., Studenov I. I., Pavlenko V. I. Ekologicheskoe raznoobrazie ikhtiofauny presnovodnykh vodoemov Belomorsko-Kuloiskogo poluoostrova (Arkhangel'skaya oblast') [Ecological diversity of the ichthyofauna of freshwater reservoirs of the White Sea-Kuloi Peninsula (Arkhangel'sk Region)]. *Arktika: ecol. i ekonomika* [Arctic: Ecol. and Economy]. 2013. No. 4(12). P. 70–80.

Onishchuk R. P. Soyana [Soyana]. *Pomorskaya entsiklopediya. T. 2. Priroda Arkhangel'skogo Severa* [Pomor encyclopedia. Vol. 2. Nature of the Arkhangel'sk

North]. Ed. N. M. Byzova. Arkhangel'sk: PGU, 2007. P. 486.

Pozdnyakov A. I., Vol'pert Ya. L. Analiz vozdeistviyaalmazodobyvayushchei promyshlennosti na okruzhayushchuyu sredu Severo-Zapadnoi Yakutii [Analysis of the diamond mining industry impact on the environment of North-West Yakutia]. *Probl. regional'noi ecol.* [Probl. of Regional Ecol.]. 2008. No. 2. P. 24–28.

Ponomarev V. I., Zakharov A. B., Shalaev S. N. O nakhozhdenii rechnoi kambaly *Platichthys flesus* L. v reke Pechore [On the finding of the river flounder *Platichthys flesus* L. in the Pechora River]. *Voprosy ikhtiol.* [J. Ichthyol.]. 1998. Vol. 38, no. 2. P. 278–279.

Reshetnikov Yu. S., Shatunovskii M. I. Teoreticheskie osnovy i prakticheskie aspekty monitoringa presnovodnykh ekosistem [Theoretical foundations and practical aspects of freshwater ecosystems monitoring]. *Monitoring bioraznoobraziya* [Monitoring of biodiversity]. Moscow: Nauka, 1997. P. 26–32.

Romanov V. I. Ryby Rossii v sisteme mirovoi fauny [Fish of Russia in the system of the world fauna]. Tomsk, 2010. 275 p.

*Ryby v zapovednikakh Rossii* [Fish in the nature reserves of Russia]. Vol. 1. *Presnovodnye ryby* [Freshwater fish]. Ed. Yu. S. Reshetnikova. Moscow: KMK, 2010. 625 p.

Sokolov V. E., Reshetnikov Yu. S. Monitoring bioraznoobraziya v Rossii [Monitoring of biodiversity in Russia]. *Monitoring bioraznoobraziya* [Monitoring of biodiversity]. Moscow: Nauka, 1997. P. 8–14.

*Spravochnik po vodnym resursam SSSR* [A reference book on water resources of the USSR]. Vol. 2. Leningrad: Gos. gidrol. in-t i Tsentr. byuro vodnogo kadastra, 1934. 74 p.

Studenov I. I., Novoselov A. P., Ivanov A. K., Ustyuzhinskii G. M., Borkichev V. S. Rybokhozyaistvennaya kharakteristika rechnoi sistemy Zimnei Zolotitsy v zone obustroistva mestorozhdeniyaalmazov im. M. V. Lomonosova i razrabotka meropriyatii po snizheniyushcherba rybnym resursam [Fisheries characteristics of the Zimnyaya Zolotitsa River system in the development zone of the Lomonosov diamond deposit and the development of measures to reduce damage to fish resources]. *Mater. otchetnoi sessii Sev. otd. PINRO (po itogam nauch.-issled. rabot 2002–2003 gg.)* [Mater. of the reporting session of the Northern Br. of PINRO (based on the results of the sci. research in 2002–2003)]. Arkhangel'sk, 2005. P. 190–213.

Tuchina O. R. Zolotitsa [Zolotitsa]. *Pomorskaya entsiklopediya. T. 2. Priroda Arkhangel'skogo Severa* [Po-

mor encyclopedia. Vol. 2. Nature of the Arkhangelsk North]. Ed. N. M. Byzova. Arkhangel'sk: PGU, 2007. P. 190.

*Vol'pert Ya. L.* Transformatsiya nazemnykh ekosistem v rezul'tate vozdeistviyaalmazodobyvayushchei promyshlennosti [Transformation of terrestrial ecosystems as a result of the impact of the diamond min-

ing industry]. *Uspekhi sovr. estestvoznaniya* [Advances in Current Nat. Sciences]. 2012. No. 11(1). P. 80–82.

*MacFeeters S. K.* The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water feature. *Int. J. Remote Sens.* 1995. Vol. 17, no. 7. P. 1425–1432.

*Received March 18, 2021*

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Новоселов Александр Павлович**

директор Института комплексных исследований Арктики,  
д. б. н.

Федеральный исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова  
Уральского отделения РАН  
наб. Северной Двины, 23, Архангельск, Россия, 163000  
эл. почта: alexander.novoselov@rambler.ru  
тел.: (8182) 276944

### **Матвеев Николай Юрьевич**

младший научный сотрудник  
Федеральный исследовательский центр комплексного  
изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова  
Уральского отделения РАН  
наб. Северной Двины, 23, Архангельск, Россия, 163000  
эл. почта: matnikkego@yandex.ru  
тел.: (8182) 276944

## **CONTRIBUTORS:**

### **Novoselov, Alexander**

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
23 Nab. Severnoy Dviny, 163000 Arkhangelsk, Russia  
e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru  
tel.: (8182) 276944

### **Matveev, Nikolai**

Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,  
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
23 Nab. Severnoy Dviny, 163000 Arkhangelsk, Russia  
e-mail: matnikkego@yandex.ru  
tel.: (8182) 276944

УДК 599.745.31

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛАДОЖСКОЙ КОЛЬЧАТОЙ НЕРПЫ (*PUSA HISPIDA LADOGENSIS* NORDQ.) В ПРОЛИВЕ ПАЛОСАРЕНСЕЛЬКЯ, СОРТАВАЛЬСКИЙ РАЙОН РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

А. В. Лосева<sup>1,2</sup>, В. Ю. Шахназарова<sup>2</sup>, О. А. Чиркова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга), Санкт-Петербургский филиал, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

<sup>3</sup> Ветеринарная клиника «ВетСоюз Гринландия», п. Мурино Ленинградской обл., Россия

Представлены результаты двух судовых учетов ладожской кольчатой нерпы (*Pusa hispida ladogensis* Nordq.), проведенных во второй декаде мая 2015 года, и одного берегового стационарного учета, проведенного в последней декаде июня – первой декаде июля 2018 года, на территории национального парка «Ладожские шхеры» в Сортавальском районе Республики Карелия. Тюлени образуют многочисленные залежки по берегам островов на выходе из пролива Палосаренселькя и в глубине пролива, на расстоянии до 8 километров от открытой части озера, в том числе в непосредственной близости от населенных пунктов. Максимальное учтенное в 2015 году количество кольчатых нерп составило 67 особей. Размер залежек варьировал от 2 до 19 особей. Наиболее крупные залежки наблюдались на островах Матьюссарет, Селькясари, Котилуото и на луде между островами Хонкасари и Котилуото. После окончания линьки кольчатая нерпа продолжает регулярно использовать залежки в районе о. Котилуото как минимум до первой декады июля. Во время стационарных учетов, проведенных с берега о. Котилуото, численность нерп достигала 38 особей. Тюлени в дневное время суток подвергались значительному воздействию антропогенного беспокойства. Для установления сезонного распределения и численности ладожской кольчатой нерпы в шхерах Ладожского озера и обоснования регуляции водного туризма на островах национального парка «Ладожские шхеры» необходимы более обширные работы.

К л ю ч е в ы е с л о в а: ладожская кольчатая нерпа; залежка; Ладожское озеро; национальный парк «Ладожские шхеры».

**A. V. Loseva, V. Yu. Shakhnazarova, O. A. Chirkova. DISTRIBUTION OF THE LADOGA RINGED SEAL (*PUSA HISPIDA LADOGENSIS* NORDQ.) IN PALOSARENSELKYA STRAIT, SORTAVALA DISTRICT OF THE REPUBLIC OF KARELIA**

The results of two shipboard counts (dated the second third of May 2015) and a stationary shore-based count (in the last third of June and the first third of July 2018) of the Ladoga ringed seal (*Pusa hispida ladogensis* Nordq.) in the Ladoga Skerries National Park, Sortavala District of the Republic of Karelia, are reported. The seals form numerous haul-out groups on island shores at the entrance to Palosarenselkya Strait and at a distance of 8 kilometers into the strait, sometimes in close proximity to human settlements. The maximum number of counted seals

in 2015 was 67 individuals. The size of haul-out groups varied between 2 and 19 individuals. The most abundant haul-out groups were observed at Matyussaaret, Selkasari, Kotiluoto islands and at the islet between islands Honkasari and Kotiluoto. By the end of molting, ringed seals continue to use haul-out sites near Kotiluoto Island at least until the first third of July. During the stationary count conducted from Kotiluoto Island shore, seal abundance was up to 38 individuals. The seals were exposed to heavy human disturbance in the daytime. More extensive observations are needed to determine the seasonal distribution and abundance of the Ladoga ringed seal in the skerries of Lake Ladoga, and to substantiate the regulation of water tourism at islands in the Ladoga Skerries National Park.

**Key words:** Ladoga ringed seal; haul-out site; Lake Ladoga; Ladoga Skerries National Park.

## Введение

Ладожская кольчатая нерпа (*Pusa hispida ladogensis* Nordq.) – эндемичный подвид кольчатой нерпы, населяющий континентальный водоем Ладожское озеро. Согласно результатам последнего учета, подвид насчитывает не менее 5000 особей [Веревкин, Высоцкий, 2013; Trukhanova et al., 2013]. Для подвида характерна сезонная смена мест обитания, связанная с динамикой становления и разрушения ледового покрова, поскольку в зимне-весенний период кольчатая нерпа ассоциирована со льдами. Половозрелые особи придерживаются районов торошения льда [Филатов, 1978] либо ровных полей льда вблизи скалистых луд и островов [Kunnasranta et al., 2001], где формируются снежные наносы, пригодные для создания репродуктивных логовищ. Неполовозрелые тюлени держатся на открытых ледовых полях в удалении от берега [Филатов, 1978]. Несмотря на то что численность ладожской кольчатой нерпы увеличилась по сравнению с 2001 годом [Веревкин, 2003], подвид имеет охранный статус по причине ограниченного ареала. Ладожская кольчатая нерпа относится к I категории в Красной книге России, к категории «уязвимый» («vulnerable») в Красном списке Международного союза охраны природы (IUCN). Кольчатая нерпа в Ладожском озере подвержена значительной антропогенной нагрузке в виде беспокойства в местах размножения, линьки и отдыха, главным образом со стороны водномоторного и воздушного транспорта, а также в виде гибели большого числа особей в сетях и иных орудиях рыбного промысла [Агафонова и др., 2007а; Труханова, 2012].

Для охраны подвида необходимо обладать подробной информацией о его распределении в акватории озера. Известно, что в конце марта и апреле большая часть популяции концентрируется в центральных и южных районах озера, что, очевидно, отражает распределение тюленей в течение всего ледового периода [Ан-

тонюк, 1975; Филатов, 1978; Медведев и др., 2006; Trukhanova et al., 2013]. В то же время, по мнению некоторых исследователей, до 20 % популяции может зимовать и размножаться в шхерах северной части озера [Kunnasranta et al., 2001; Медведев, Сипиля, 2010]. Район шхер представляет собой особый интерес как местообитание тюленей. Занимая приблизительно 1/200 часть площади Ладожского озера, он существенно выделяется по условиям среды. Север озера характеризуется сильно изрезанной береговой линией, наличием узких, глубоко вдающихся в материк заливов и большим числом островов, защищающих акваторию шхер от штормовых воздействий, что создает благоприятные условия для размножения и формирования залежек ладожской нерпы. Распределение нерпы в шхерном районе в период после разрушения льда не изучено, хотя отдельные острова посещались в разные годы при проведении судовых учетов [Медведев и др., 2000; Агафонова и др., 2007б; Уличев, Дудакова, 2016].

Представленный материал имеет ценность прежде всего в связи с организацией национального парка «Ладожские шхеры» и необходимостью зонирования его территории при утверждении Положения. В настоящее время не существует каких-либо специальных программ по изучению распределения ладожской кольчатой нерпы в различные сезоны, и получение данных возможно лишь за счет попутных наблюдений или опросов местного населения. В мае 2015 года удалось целенаправленно провести учет нерпы на залежках в центральной части шхерного района Ладожского озера. В 2018 году кратковременный стационарный учет проводился в том же районе на о. Котилуото.

## Материалы и методы

16 и 19 мая 2015 года проведены судовые учеты кольчатой нерпы в проливе Палосарен-

селькя, Сортавальский район Республики Карелия. 16 мая проведен учет с однопалубной моторной яхты, с использованием 10-кратного бинокля, по маршруту: залив Меллойстенлахти – пролив Палосаренселькя – остров Котилуото (с берега последнего при помощи 60-кратной зрительной трубы осмотрен также остров Сури-Виролуото). Таким образом, учетом был охвачен весь пролив и часть периферийных островов, протяженность маршрута составила около 16 километров. Острова на выходе из пролива повторно обследованы 17 мая во время обратного маршрута. 19 мая для уточнения распределения нерпы вблизи п. Хаапалампи был проведен учет с борта весельной лодки типа «Пелла» под навесным мотором, частично повторивший предыдущий маршрут: залив Меллойстенлахти – пролив Витсасалми – о. Палосари – о. Матюссарет – пролив Палосаренселькя – залив Меллойстенлахти. Учитывались тюлени, залегающие на суше и находящиеся в воде. Учет 16 мая проводился при допустимых погодных условиях – ветер 4–5 м/с, с отдельными порывами до 10 м/с, волны в проливе высотой около 20–30 см. 17 мая скорость

ветра составила 3 м/с, волнение 10 см. 19 мая скорость ветра составила 1–2 м/с, волнение представляло собой легкую рябь.

Стационарный учет проводился с 21 июня по 8 июля 2018 г. с наиболее высокой точки о. Котилуото. Тюлени учитывались при помощи 12-кратного бинокля и 50-кратной зрительной трубы. Осматривался берег конкретного острова и близлежащие луды, о. Хонкасари, луда между островами Хонкасари и Котилуото, о. Сури-Виролуото. Учет осуществлялся один раз в час с 9.00 до 21.00.

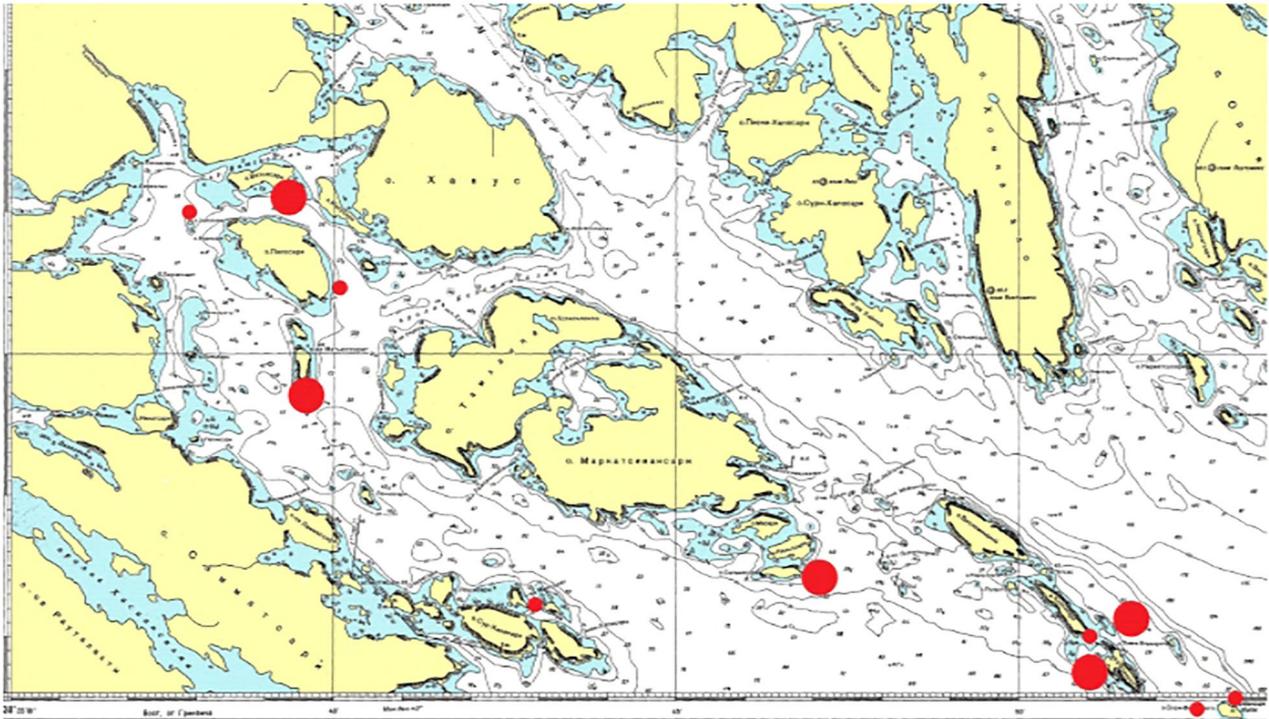
## Результаты и обсуждение

В ходе судового учета обнаружено, что ладожская кольчатая нерпа образует многочисленные залежки по берегам островов пролива Палосаренселькя. Залегающие особи или особи, плавающие непосредственно у берега и пытающиеся выбраться на сушу, выявлены на 9 островах (табл. 1, рис.). На четырех из них отмечены группы, состоявшие из более чем десяти особей. Общее число кольчатых нерп, зафиксированных одновременно на маршруте

Таблица 1. Места залежек ладожской кольчатой нерпы, обнаруженные в ходе судовых учетов 16–19 мая 2015 г.

Table 1. Haul-out sites of the Ladoga ringed seal found during the shipboard survey, May 16–19, 2015

Название острова Island	Координаты Coordinates	Дата Data	Число особей на залежке Seal number at a haul-out site	Число особей в воде Seal number in the water
о. Палосари Palosari Island	61°36'23"N 30°39'44"E	19.05.15	4	0
о. Матюссарет Matyussaaret Island	61°35'48"N 30°39'23"E	16.05.15	7	1
		19.05.15	14	3
о. Маясарет Mayasaret Island	61°34'13"N 30°42'40"E	16.05.15	0	2
о. Селькясари Selkasari Island	61°34'27"N 30°46'42"E	16.05.15	18	0
		17.05.15	12	0
о. Хонкасари Honkasari Island	61°33'59"N 30°50'56"E	16.05.15	3	0
		17.05.15	0	0
луда между о-вами Хонкасари и Котилуото islet between Honkasari and Kotiluoto	61°34'5"N 30°51'7"E	16.05.15	16	1
		17.05.15	19	0
о. Котилуото Kotiluoto Island	61°33'34"N 30°51'34"E	16.05.15	5	5
		17.05.15	11	0
о. Сури-Виролуото Suri-Viroluoto Island	61°33'32"N 30°52'50"E	16.05.15	3	0
луда вблизи о. Сури- Виролуото islet near to Suri- Viroluoto Island	-	16.05.15	2	1



Распределение залежек ладожской кольчатой нерпы в проливе Палосаренселькя по результатам судовых учетов 2015 года (маленькие круги – группы до 10 особей, большие круги – группы более 10 особей)

Distribution of haul-out sites of Ladoga ringed seal in Palosarenselky Strait based on the results of the shipboard counts in 2015 (small circles – groups up to 10 individuals, big circles – groups of more than 10 individuals)

16 мая, составило 67 особей, 19 мая – 18 особей. Установлено, что тюлени заходят в пролив до самой вершины, на расстояние до 10 км от открытой части Ладожского озера. Залежки отмечались как в глубине пролива (на расстоянии до 8 км от открытой части), так и на выходе из него и были приурочены к небольшим островам (от 300 м до 1,5 километра длиной) или безлесым лудам, частично покрытым водой. Наиболее крупные залежки наблюдались на островах Матюссарет, Селькясари, Котилуото и на луде между островами Хонкасари и Котилуото.

По сообщениям местных жителей, опрошенных в мае 2015 года, тюлени периодически залегают еще на двух островах в глубине залива: на о. Витсасари – не более 15 особей, на о. Хапосари – не более 10 особей. Данные острова расположены в 0,6–1,2 километра от населенных пунктов (рис.). Плавающих тюленей мы наблюдали несколько раз в поселке Чайка Хаапалампинского сельского поселения, в 2–3 метрах от причала.

Во время стационарных учетов, проведенных в конце июня – начале июля 2018 года с берега о. Котилуото, численность нерп достигала 29–38 особей. В табл. 2 представлены результаты учетов для каждого дня, во время

которых было отмечено максимальное число особей. Во всех случаях, кроме 3 июля, максимум пришелся на 9.00 (03.07 максимальное число нерп отмечено около 21.00). Большая часть животных залежала на луде между островами Хонкасари и Котилуото (табл. 2). На самих островах одиночные нерпы отмечены однократно. Кроме того, группа тюленей единственный раз заняла луду, расположенную в 60 метрах к юго-западу от о. Котилуото (61°33'42"N, 30°51'07"E). На о. Сури-Виролуото и луде вблизи острова тюлени в рассматриваемый период не отмечены.

В настоящее время шхерный район Ладожского озера остается недостаточно изученной территорией на предмет распределения залежек кольчатой нерпы, в отличие от Валаамского и Западного архипелагов. Большое количество островов существенно затрудняет обследование шхер. В литературе последних двадцати лет упоминаются встречи одиночных особей или небольших групп на о-вах Кухка, Кильписарет, Перя-Кильписарет, расположенных в Лахденпохском районе, в июне–июле [Агафонова и др., 2007б]. В восточной части шхер массовые залежки известны на о-вах Ристисари, Лусинкайнлуото, Райпатсаари и близлежащих лудах, здесь их отмечали в первой декаде

Таблица 2. Численность кольчатой нерпы на залежках в районе о. Котилуото по данным стационарного учета  
 Table 2. Number of seals at haul-out sites near Kotiluoto Island based on the results of the stationary survey

Дата Data	Луда между о-вами Хонкасари и Котилуото Islet between Honkasari and Kotiluoto islands	Луда к югу от о. Котилуото Islet south to Kotiluoto islands	о. Котилуото Kotiluoto Island	о. Хонкасари Honkasari Island
21.06.18	0	0	0	0
22.06.18	0	0	0	0
23.06.18	4	0	0	0
24.06.18	27	9	1	1
25.06.18	1	0	0	0
26.06.18	13	0	0	0
27.06.18	11	0	0	0
28.06.18	31	0	0	0
29.06.18	0	0	0	0
30.06.18	0	0	0	0
31.06.18	0	0	0	0
01.07.18	0	0	0	0
02.07.18	0	0	0	0
03.07.18	28	0	0	0
04.07.18	7	0	0	0
05.07.18	0	0	0	0
06.07.18	2	0	0	0
07.07.18	0	0	0	0
08.07.18	0	0	0	0

мая [Уличев, Дудакова, 2016]. Крупная залежка (около 30 особей) снята на видео местными жителями внутри залива Мурсуланлахти в Питкярантском районе в начале мая 2015 года [Жители...]. Информация о залежках в центральной части Сортавальского района до сих пор отсутствовала. Проведенные учеты показали, что ладожская кольчатая нерпа формирует залежки в центральной части шхер, при этом особое значение для тюленей имеют острова и луды, расположенные на выходе из проливов Палосаренселькя и Маркатсимансалми. В то же время установлено, что нерпа способна формировать залежки на значительном расстоянии от выхода в открытую часть Ладожского озера. Обилие залежек 16–19 мая 2015 г. было обусловлено тем, что время учета совпало с окончанием линьки у нерпы. Пребывание вне воды во время линьки необходимо настоящим тюленям для поддержания оптимальной температуры поверхности тела, способствующей обновлению волосяного покрова [Paterson et al., 2012]. После разрушения льда ладожская нерпа часто заканчивает линьку на берегах островов или иных участках суши [Филатов, 1975]. Острова и скалистые луды в изобилии представлены на севере озера, что позволяет разместиться здесь значительному числу особей. Примечательно, что 16 мая погода была

сравнительно неблагоприятной для выхода тюленей на залежки (имело место волнение в проливе), то есть наблюдавшееся количество нерп с высокой вероятностью не является максимальным для обследованного района. По результатам учетов установлено, что после окончания линьки нерпа продолжает регулярно использовать залежки на островах, расположенных на выходе из пролива Палосаренселькя, как минимум до первой декады июля.

На распределение залежек и сроки их формирования стоит обратить внимание при выделении заповедной зоны или особо охраняемой зоны национального парка «Ладожские шхеры». В предложениях по созданию национального парка периферия шхер обозначена как зона, важная для охраны ладожской кольчатой нерпы с 1 февраля по 31 мая [Кравченко, 2001]. В первую очередь это предложение связано с охраной мест размножения нерпы. Очевидно, что распределение особей в период после схода льда (в частности, распределение залежек) включает также внутренние районы шхер и требует детального зонирования.

### Заключение

Значение ладожских шхер как территории зимовки кольчатой нерпы может вырасти в бли-

жайшие годы в связи с неблагоприятной ледовой обстановкой, приводящей к концентрации тюленей в закрытых проливах, где быстро формируется припайный лед [Медведев, Сипиля, 2010]. Как следствие, ожидается скопление нерп в шхерном районе и в весенний период. По результатам кратковременных работ зарегистрировано более десяти залежек кольчатой нерпы в проливе Палосаренселькя, которая, предположительно, зимовала в шхерах либо на ледовых полях северной части Ладожского озера. В то же время растет популярность Северного Приладожья среди владельцев маломерного водного транспорта, посещающих шхеры с целью рекреационной деятельности и любительского рыболовства. Через шхеры также осуществляется транзит туристических теплоходов и «метеоров». Водный транспорт причиняет значительное беспокойство кольчатой нерпе, залегающей на побережье островов и на лудах, что особенно критично для тюленей в период линьки [Paterson et al., 2012], происходящей у ладожской нерпы на апрель-май [Филатов, 1975]. Показательно, что во время стационарных работ на о. Котилуото тюлени залежали в основном в утренние часы, поскольку в дневное время их регулярно спугивали с залежек. Для установления сезонных закономерностей в распределении кольчатой нерпы в разных районах и выделения зон ограничения доступа водным туристам на островах национального парка «Ладожские шхеры» требуется проведение мониторинга, включающего многократные судовые и стационарные учеты.

Судовые учеты ладожской кольчатой нерпы выполнены в рамках проекта «Комплексное экологическое обследование, обосновывающее придание статуса ООПТ участку территории, расположенному в окрестности урочища Чайка (Хаапалампинское сельское поселение Сортавальского района Республики Карелия)».

Авторы благодарят Ярослава Капралова за финансовую поддержку в проведении работ по проекту, а также выражают признательность Обществу добровольных лесных пожарных за организацию полевого лагеря на острове Котилуото в 2018 году.

## Литература

Агафонова Е. В., Веревкин М. В., Медведев Н. В., Сипиля Т., Соколовская М. В., Шахназарова В. Ю. Характер размещения релаксационных залежек ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) и численность животных на них в летний период на островах Валаамского архипелага // Динамика

популяций охотничьих животных Северной Европы: Матер. 4-го междунар. симп. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2007а. С. 5–9.

Агафонова Е. В., Веревкин М. В., Сагитов Р. А., Сипиля Т., Соколовская М. В., Шахназарова В. Ю. Кольчатая нерпа в Ладожском озере и на островах Валаамского архипелага // Savonlinna. 2007б. 61 с.

Антонюк А. А. Оценка общей численности популяции тюленя *Pusa hispida ladogensis* Ладожского озера // Зоологический журнал. 1975. Т. 54, вып. 9. С. 1371–1376.

Веревкин М. В. Результаты авиаучета кольчатой нерпы на Ладожском озере // Динамика популяций охотничьих животных Северной Европы: Матер. 3-го междунар. симп. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2003. С. 202–205.

Веревкин М. В., Высоцкий В. Г. Современное состояние популяции ладожской кольчатой нерпы *Pusa hispida ladogensis* (Nordquist, 1899) // Вестник СПбГУ. 2013. Сер. 3. Вып. 4. С. 14–25.

Жители Карелии засняли на камеру нерпу, отдыхающую на берегу Ладожского озера // Столица на Onego.ru. Интернет-журнал Карелии [Электронный ресурс]. URL: <https://stolicaonego.ru/news/268223/> (дата обращения: 15.04.2020).

Кравченко А. В. Национальный парк «Ладожские шхеры»: предложения к организации. Петрозаводск: European Commission, 2001. 92 с.

Медведев Н. В., Сипиля Т., Куннасранта М., Хюваринен Х. Ладожская нерпа // Инвентаризация и изучение биологического разнообразия на территории Заонежского полуострова и Северного Приладожья (опер.-информ. матер.). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 325–332.

Медведев Н., Веревкин М. В., Сипиля Т. Характер распределения ладожской нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) по акватории озера в ледовый сезон // Морские млекопитающие Голарктики: Сб. науч. тр. по матер. 4-й междунар. конф. СПб., 2006. С. 358–360.

Медведев Н., Сипиля Т. Особенности зимовки и размножения кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) в северной части Ладожского озера // Труды КарНЦ РАН. 2010. № 1. С. 86–94.

Труханова И. С., Сагитов Р. А., Веревкин М. В., Алексеев В. А., Андриевская Е. М. Ладожская кольчатая нерпа и рыбный промысел: почему возник конфликт? // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2012. № 2. С. 232–238.

Уличев В. И., Дудакова Д. С. Мониторинг численности ладожской кольчатой нерпы (*Phoca hispida ladogensis*) в шхерном районе Ладожского озера // Сб. науч. тр. Всерос. конф. по крупным внутренним водоемам. 5-й Ладожский симп. СПб., 2016. С. 431–436.

Филатов И. Е. Линька ладожской нерпы // Морские млекопитающие. Ч. 2: Матер. 6-го Всесоюзного совещ. Киев: Наукова думка, 1975. 146 с.

Филатов И. Е. Сезонное распределение нерпы Ладожского озера // Морские млекопитающие: Тез. докл. 7-го всесоюз. совещ. М., 1978. С. 342–343.

Kunnasranta M., Huvvarinen H., Sipilä T., Medvedev N. Breeding habitat and lair structure of the ringed seal in northern Lake Ladoga in Russia // Polar. Biol. 2001. Vol. 24. P. 171–174. doi: 10.1007/s003000000192

Paterson W., Sparling C. E., Thompson D., Pomeroy P. P., Currie J. I., McCafferty D. J. Seals like it hot: changes in surface temperature of harbour seals (*Phoca vitulina*) from late pregnancy to moult // *J. Thermal Biol.* 2012. Vol. 37. P. 454–461. doi: 10.1016/j.jtherbio.2012.03.004

Trukhanova I. S., Gurarie E., Sagitov R. A. Distribution of hauled-out Ladoga ringed seals (*Pusa hispida ladogensis*) in spring 2012 // *Arctic*. 2013. Vol. 66, no. 4. P. 417–428. doi: 10.14430/arctic4328

Поступила в редакцию 24.10.2020

## References

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Medvedev N. V., Sipilya T., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Yu. Kharakter razmeshcheniya relaksatsionnykh zalezhek ladozhskoi kol'chatoi nerpy (*Phoca hispida ladogensis* Nordq.) i chislennost' zhyvotnykh na nikh v letnii period na ostrovakh Valaamskogo arhipelaga [Distribution of haul-out sites of Ladoga ringed seals (*Phoca hispida ladogensis* Nordq.) and their abundance on the islands of the Valaam Archipelago (Lake Ladoga) in summer]. *Dinamika populyatsii okhotnich'ikh zhyvotnykh Severnoi Evropy* [Dynamics of game animals populations in Northern Europe]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007a. P. 5–9.

Agafonova E. V., Verevkin M. V., Sagitov R. A., Sipilya T., Sokolovskaya M. V., Shakhnazarova V. Yu. Kol'chataya nerpa v Ladozhskom ozere i na ostrovakh Valaamskogo arhipelaga [The ringed seal in Lake Ladoga and the Valaam Archipelago]. Savonlinna, 2007b. 61 p.

Antonyuk A. A. Otsenka obshchei chislennosti populyatsii tyulenyi *Pusa hispida ladogensis* Ladozhskogo ozera [Estimation of the population abundance of the Ladoga seals *Pusa hispida ladogensis*]. *Zool. zhurn.* [Zool. J.]. 1975. Vol. 54, no. 9. P. 1371–1376.

Filatov I. E. Lin'ka ladozhskoi nerpy [Moulting of the Ladoga ringed seal]. *Morskije mlekopitayushchie. Ch. 2: Mater. 6-go Vsesoyuznogo soveshch* [Marine mammals. P. 2. Proceed. 6<sup>th</sup> All-Union meeting]. Kiev: Naukova dumka, 1975. 146 p.

Filatov I. E. Sezonnoe raspredelenie nerpy Ladozhskogo ozera [Seasonal distribution of the Ladoga ringed seal]. *Morskije mlekopitayushchie: Tez. dokl. 7-go vsesoyuz. soveshch.* [Marine mammals. Abs. 7<sup>th</sup> All-Union meeting]. Moscow, 1978. P. 342–343.

Kravchenko A. V. Natsional'nyi park "Ladozhskie shkhery": predlozheniya k organizatsii [The Ladoga Skerries National Park: foundation proposals]. Petrozavodsk: European Commission, 2001. 92 p.

Medvedev N. V., Sipilya T., Kunnasranta M., Khyvarinen Kh. Ladozhskaya nerpa [The Ladoga ringed seal]. *Inventarizatsiya i izuchenie biol. raznoobraziya na territorii Zaonezhskogo poluostrova i Severnogo Priladozh'ya (oper. -inform. mater.)* [Inventory and research of biol. diversity on the territory of Zaonezhsky Peninsula and northern coast of Lake Ladoga (operational inf. mat.)]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. P. 325–332.

Medvedev N., Sipilya T. Osobennosti zimovki i razmnozheniya kol'chatoi nerpy (*Phoca hispida ladogensis*) v severnoi chasti Ladozhskogo ozera [Wintering and breeding peculiarities of ringed seal (*Pusa hispida ladogensis*) in the northern part of Lake Ladoga]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2010. No. 1. P. 86–94.

Medvedev N., Verevkin M. V., Sipilya T. Kharakter raspredeleniya ladozhskoi nerpy (*Phoca hispida ladogensis*) po akvatorii ozera v ledovyi sezon [Peculiarities of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogen-*

*sis*) distribution across the lake water area in the ice-covered period]. *Morskije mlekopitayushchie Golarktiki: Sb. nauch. tr. po mater. 4-i mezhdunar. konf.* [Marine mammals of the Holarctic: Proceed. 4<sup>th</sup> int. conf.]. St. Petersburg, 2006. P. 358–360.

Trukhanova I. S., Sagitov R. A., Verevkin M. V., Alekseev V. A., Andrievskaya E. M. Ladozhskaya kol'chataya nerpa i rybnyi promysel: pochemu voznik konflikt? [The Ladoga ringed seal and the commercial fishery: why did the conflict arise?]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye* [Terra Humana]. 2012. No. 2. P. 232–238.

Ulichev V. I., Dudakova D. S. Monitoring chislennosti ladozhskoi kol'chatoi nerpy (*Phoca hispida ladogensis*) v shkhernom raione Ladozhskogo ozera [Monitoring of the Ladoga ringed seal (*Phoca hispida ladogensis*) abundance in the skerry region of Lake Ladoga]. *Sb. nauch. tr. Vseros. konf. po krupnym vnutrennim vo-domam. 5-i Ladozhskii simp.* [Proceed. All-Russ. conf. on large inland water bodies. 5<sup>th</sup> Ladoga Symp.]. St. Petersburg, 2016. P. 431–436.

Verevkin M. V. Rezul'taty aviaucheta kol'chatoi nerpy na Ladozhskom ozere [The results of aircraft survey of Ladoga ringed seal]. *Dinamika populyatsii okhotnich'ikh zhyvotnykh Severnoi Evropy* [Dynamics of game animals populations in Northern Europe]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 202–205.

Verevkin M. V., Vysotskii V. G. Sovremennoe sostoyanie populyatsii ladozhskoi kol'chatoi nerpy *Pusa hispida ladogensis* (Nordquist, 1899) [Current status of the Ladoga ringed seal *Pusa hispida ladogensis* (Nordquist, 1899)]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik St. Petersburg Univ.]. 2013. Ser. 3. iss. 4. P. 14–25.

Zhiteli Karelii zasnyali na kameru nerpu, otdykhayushchuyu na beregu Ladozhskogo ozera [Residents of Karelia have caught on camera a ringed seal resting on the coast of Lake Ladoga]. *Stolitisa na Onego.ru*. Online newspaper. URL: <https://stolicaonego.ru/news/268223/> (accessed: 15.04.2020).

Kunnasranta M., Hüvarinen H., Sipilä T., Medvedev N. Breeding habitat and lair structure of the ringed seal in northern Lake Ladoga in Russia. *Polar Biol.* 2001. Vol. 24. P. 171–174. doi: 10.1007/s003000000192

Paterson W., Sparling C. E., Thompson D., Pomeroy P. P., Currie J. I., McCafferty D. J. Seals like it hot: changes in surface temperature of harbour seals (*Phoca vitulina*) from late pregnancy to moult. *J. Thermal Biol.* 2012. Vol. 37. P. 454–461. doi: 10.1016/j.jtherbio.2012.03.004

Trukhanova I. S., Gurarie E., Sagitov R. A. Distribution of hauled-out Ladoga ringed seals (*Pusa hispida ladogensis*) in spring 2012. *Arctic*. 2013. Vol. 66, no. 4. P. 417–428. doi: 10.14430/arctic4328

Received October 24, 2020

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

### **Лосева Анна Владимировна**

инженер  
Санкт-Петербургский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга)  
наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, Россия, 199053  
лаборант-исследователь кафедры зоологии позвоночных биологического факультета  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, Россия, 199034  
эл. почта: losevaann@yandex.ru

### **Шахназарова Влада Юрьевна**

доцент кафедры агрохимии биологического факультета,  
к. б. н.  
Санкт-Петербургский государственный университет  
Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, Россия, 199034  
эл. почта: shahnazarova-v@mail.ru.

### **Чиркова Ольга Александровна**

специалист  
Ветеринарная клиника «ВетСоюз Гринландия»  
Воронцовский бульвар, 2, п. Мурино, Ленинградская обл., Россия, 188662  
эл. почта: chirrr.dec@yandex.ru.

## **CONTRIBUTORS:**

### **Loseva, Anna**

St. Petersburg Branch of the Russian Federal Research Institute of Fishery and Oceanography ('GosNIORH' named after L. S. Berg)  
26 Nab. Makarova, 199053 St. Petersburg, Russia  
St. Petersburg State University, Department of Vertebrate Zoology  
7–9 Universitetskaya Nab., 199034 St. Petersburg, Russia  
e-mail: losevaann@yandex.ru

### **Shahnazarova, Vlada**

St. Petersburg State University  
7–9 Universitetskaya Nab., 199034 St. Petersburg, Russia  
e-mail: shahnazarova-v@mail.ru

### **Chirkova, Olga**

Veterinary Clinic 'VetSoiuz Grinlandiya'  
2 Vorontsovskiy Blvd., 188662 Murino, Leningrad Region, Russia  
e-mail: chirrr.dec@yandex.ru.

УДК 597.556.253:57.047:591.69

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАРАЖЕНИЯ ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКИ (*GASTEROSTEUS ACULEATUS* L.) МЕТАЦЕРКАРИЯМИ ТРЕМАТОД *CRYPTOCOTYLE* SPP. ВО ВРЕМЯ НЕРЕСТОВОГО СЕЗОНА НА БЕЛОМ МОРЕ**

**П. В. Головин<sup>1</sup>, М. В. Иванов<sup>1</sup>, Т. С. Иванова<sup>1</sup>, Е. В. Рыбкина<sup>2</sup>,  
Д. Л. Лайус<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

Проведена количественная оценка метацеркарий трематод рода *Cryptocotyle* на поверхности тела у трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* Кандалакшского залива Белого моря. Для работы были выбраны три нерестилища, отличающиеся по сочетанию ключевых характеристик среды, влияющих на плотность производителей. Отлов рыб проводили трехкратно в течение нерестового периода с 29 мая по 7 июля 2016 г. В начале нереста характеристики заражения у рыб из разных местообитаний были очень сходны, что, скорее всего, указывает на смешивание колюшки во время зимовки. Впоследствии во всех биотопах к концу нереста отмечалось увеличение как индекса обилия паразитов (среднее число паразитов на рыбу, включая незараженных особей), так и экстенсивности заражения (доля зараженных рыб). Самые высокие значения индекса обилия и экстенсивности заражения наблюдали в лагуне Колюшковая, отличающейся от других нерестилищ колюшки значительной степенью изолированности от моря и замедленным водообменом, способствующими накоплению паразитов у особей. Отсутствие у колюшек половых различий по степени заражения указывает на то, что хотя самцы и самки несколько отличаются в отношении пространственного распределения в разные периоды нереста, эти различия недостаточны для того, чтобы привести к различиям в зараженности. Отсутствие достоверной связи между индивидуальной зараженностью и размерами тела, вероятно, объясняется высокой вариабельностью размеров рыб разного возраста.

Ключевые слова: рыбы; размножение; паразиты; смертность; динамика численности.

**P. V. Golovin, M. V. Ivanov, T. S. Ivanova, E. V. Rybkina, D. L. Lajus.  
CHARACTERISTICS OF THREESPINNE STICKLEBACK (*GASTEROSTEUS ACULEATUS* L.) INFECTION WITH METACERCARIAE OF *CRYPTOCOTYLE* SPP. TREMATODES DURING THE SPAWNING SEASON IN THE WHITE SEA**

A quantitative assessment of metacercariae of the genus *Cryptocotyle* on the body surface of threespine sticklebacks *Gasterosteus aculeatus* in the Gulf of Kandalaksha, White Sea, was carried out. Three spawning grounds were studied, differing in key environmental characteristics influencing spawner population densities. Fish were caught three times during the spawning period from May 29 to July 7, 2016. Early in the spawning period,

the infection rates in fish from different locations were very similar, presumably indicating a mixing of sticklebacks during the wintering period. Later on, both the abundance (average number of parasites per fish, including non-infected individuals) and prevalence (the percentage of infected fish) of parasites increased towards the end of the spawning period in all the habitats. The parasite abundance and prevalence were the highest in Koliushkovaya Lagoon, which differs from other spawning grounds in being significantly isolated from the sea and having a greater retention time, favoring the accumulation of parasites in fish. The absence of sex-specific differences in the rate of infection in sticklebacks indicates that although the spatial distributions of males and females differ somewhat in some intervals of the spawning season, these differences are not great enough to have effect on infection rates. The absence of a reliable correlation between individual infection rate and body size is probably due to the high size variation in fish of different ages.

**Key words:** fishes; parasites; reproduction; mortality; population dynamics.

## Введение

Подробное изучение систем «паразит – хозяин» и их характеристик доступно на примере широко распространенных массовых видов, обитающих в изменчивых условиях среды и характеризующихся значительными колебаниями численности. В Белом море ярким представителем таких видов является трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (L., 1758), в настоящее время преобладающая по численности среди рыб [Лайус и др., 2013, 2020; Ivanova et al., 2016]. Продолжительность жизни беломорской колюшки невелика – до 5 лет, а половое созревание обычно происходит на второй год [Лайус и др., 2020]. Низкие температуры значительно ограничивают продолжительность нереста вида в Белом море. Репродуктивный сезон продолжается здесь около 5–6 недель [Bakhvalova et al., 2016], в то время как в некоторых морских [Whoriskey et al., 1986] и жилых озерных [Ali, Wootton, 1999] популяциях из других частей ареала нерест занимает 2–3 месяца и даже иногда является круглогодичным в континентальных водоемах [Mori, 1987]. Именно в это время жизни рыбы находятся в наиболее тесном контакте с пропативными стадиями развития паразитов. Одними из наиболее распространенных паразитов колюшки являются трематоды рода *Cryptocotyle* (Lühe, 1899), для которых рыба является вторым промежуточным хозяином. После выхода из моллюска при контакте с рыбой церкарии закрепляются на ее покровах и переходят в покоящуюся стадию – метацеркарию, окруженную цистой, которая сохраняется до момента попадания паразита в пищеварительную систему окончательного хозяина – рыбоядной птицы или млекопитающего. Трематоды рода *Cryptocotyle* могут оказывать патогенное воздействие на второго промежуточного хозяина. Молодь сельди *Clu-*

*pea harengus* (L., 1758) при экспериментальном массовом заражении церкариями *Cryptocotyle lingua* (Creplin, 1825) погибает в течение 15–30 дней [Sindermann, Rosenfeld, 1954; цит. по: Sindermann, Farrin, 1962]. У особей длиннорылой рыбы-иглы *Syngnathus typhle* (L., 1758), сильно зараженных *Cryptocotyle* sp., отмечается снижение плодовитости [Rosenqvist, Johansson, 1995], а также вероятности встречи партнера для спаривания [Mazzi, 2004]. Отмечается, что заражение бычка-кругляка *Gobius melanostomus* (Pallas, 1814) церкариями *C. cancanum* может приводить к сокращению запасов липидов в тканях хозяев [Щепкина, 1981]. Известны примеры патогенного воздействия трематод других родов на большеротого окуня *Micropterus salmoides* (Lacépède, 1802) и си-нежаберного солнечника *Lepomis macrochirus* (Rafinesque, 1810), приводящего к обширным повреждениям покровов и последующей гибели особей хозяев [Hoffman, 1956; Lemly, Esch, 1984; Poulin, 1993]. Кроме того, иногда отмечается специфичность воздействия по отношению к полу носителя [Mazzi, 2004; Karvonen, Lindström, 2018].

Необходимо отметить, что на протяжении длительного времени в половозрелой части беломорской популяции колюшки во время нереста наблюдается отклонение от равновесного соотношения полов [Artamonova et al., 2015]. Вполне возможно, что динамика численности трехиглой колюшки и паразитов рода *Cryptocotyle* в Белом море взаимосвязана, а показатели зараженности могут отражать определенные этапы жизни популяции хозяина, степень ее устойчивости к изменениям среды обитания.

Целью настоящей работы было изучение и описание пространственно-временных особенностей распределения паразитов *Cryptocotyle* spp. в популяции трехиглой колюшки Белого моря во время нерестового сезона.

## Материалы и методы

Материал для работы собирали в 2016 году в окрестностях учебно-научной станции Санкт-Петербургского государственного университета на о. Среднем. Отлов рыбы во время нереста проводили трижды: 29–30 мая, 15–17 июня и 7 июля. Для работы использовался мальковый невод длиной 7,5 метра, с ячейей от 5 до 1 мм (в крыльях и куте соответственно). Площадь облова невода составляла 120 м<sup>2</sup>, а коэффициент уловистости – 0,6 [Ivanova et al., 2019]. Места отлова рыб – губа Сельдяная (N66°33'80.66", E33°62'25.16"), пролив Сухая Салма (N66°31'16.96", E33°64'73.70") и лагуна Колюшковая (N66°31'32.62", E33°64'59.53") (рис. 1) – представляли собой характерные прибрежные нерестилища колюшки. По сочетанию условий среды губа Сельдяная может быть охарактеризована как оптимальное местообитание, с хорошими кормовыми условиями и укрытиями в виде обширных зарослей морской травы *Zostera marina* (L., 1758). В то же время из-за открытости, значительного водообмена и резкого перепада глубин прогреваемость данного нерестилища сравнительно слабая [Rybkina et al., 2017; Доргам и др., 2018]. Для лагуны Колюшковая характерна высокая степень прогреваемости воды, наличие водной растительности и высокий уровень изоляции от моря. При этом в лагуне в ходе исследова-

ний состава планктона и бентоса было отмечено сравнительно низкое разнообразие кормовых объектов колюшки [А. С. Демчук, устное сообщение]. Так же, как и в губе Сельдяная, для местообитания отмечено высокое обилие брюхоногого моллюска *Peringia ulvae* (Pennant, 1758) (прежнее родовое название *Hydrobia*), промежуточного хозяина одного из видов паразитов рассматриваемого рода *Cryptocotyle* – *Cryptocotyle cancavum*. Пролив Сухая Салма характеризуется значительным водообменом, относительно слабой прогреваемостью воды и низкой плотностью макрофитов (подробную характеристику районов сбора проб см. в [Lajus et al., 2020]).

После фиксации рыб формалином проводили сканирование левой стороны тела с разрешением 1200 dpi на сканере Epson Perfection Photo 4490. Для этого отсортированных по полу рыб раскладывали небольшими группами в ванночку со стеклянным дном, которую наполняли водой на глубину около 1 см для уменьшения световых бликов и запотевания. После этого рыб прижимали сверху поролоновым вкладышем по размеру формы и конструкцию размещали на рабочей поверхности сканера.

На полученных изображениях проводили определение количества цист метацеркарий, формирующих вместе с окружающими меланизированными тканями хозяина (капсулой) округлые пятна (рис. 2). Учет цист осуществляли

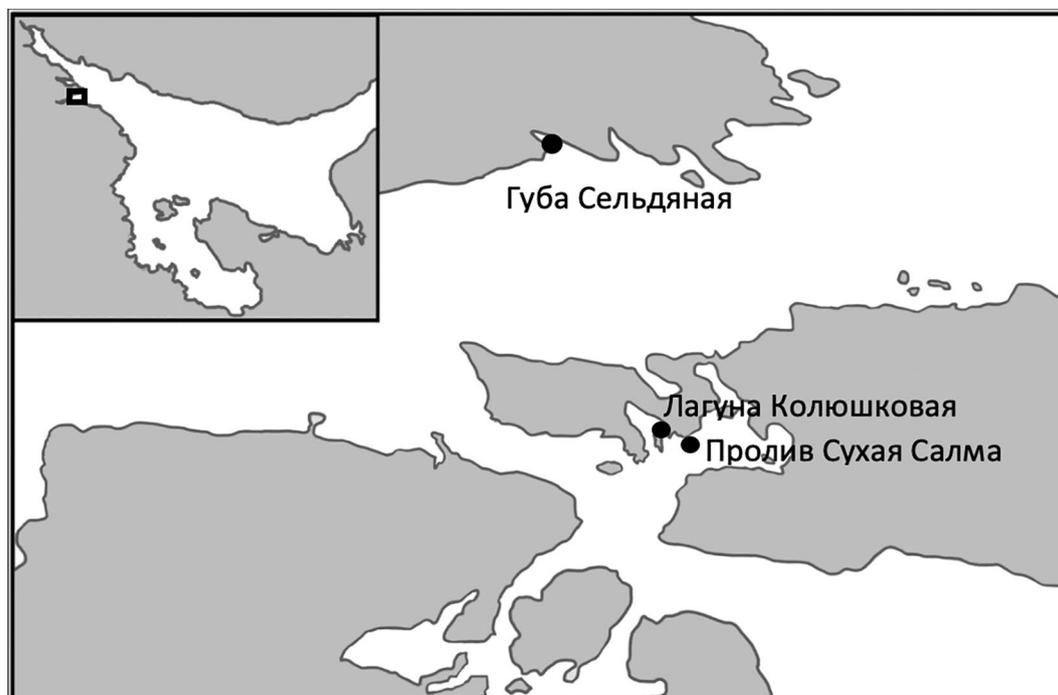


Рис. 1. Карта с расположением точек пробоотбора в Белом море в 2016 году

Fig. 1. Schematic map of the sampling points in the White Sea in 2016

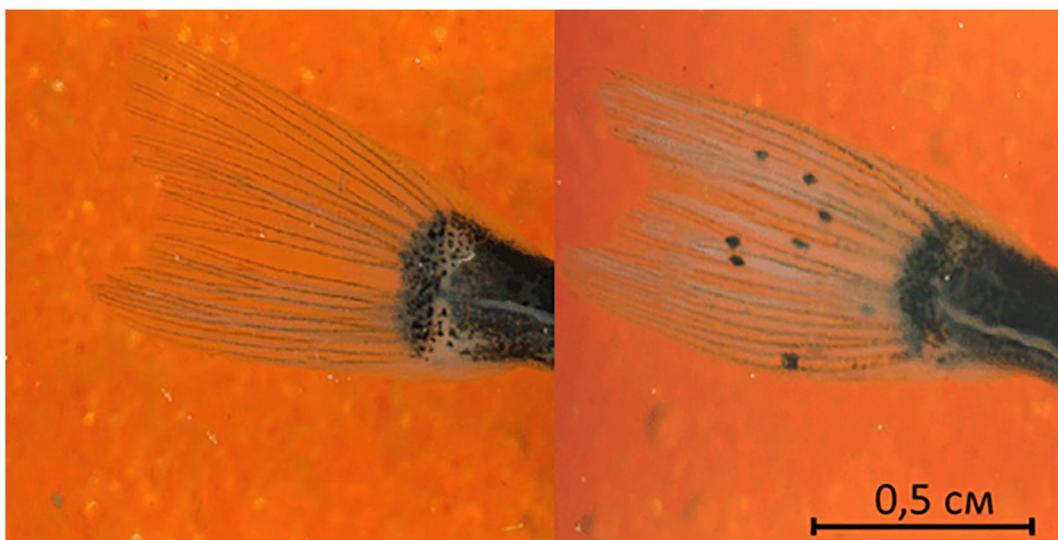


Рис. 2. Отсканированные изображения хвостовых плавников незараженной (слева) и зараженной (справа) особей колюшки. Цисты *Cryptocotyle* spp. представлены в виде темных пятен

Fig. 2. Scanned images of the caudal fins of uninfected (left) and infected (right) stickleback individuals. Dark spots – *Cryptocotyle* spp. cysts

только на лопасти хвостового плавника, так как эта часть тела является полупрозрачной и, в отличие, например, от складывающихся вдоль боков грудных плавников, удобна для рассмотрения на плоской поверхности. Диаметр капсул с цистами составлял около 300–450 мкм, значительно превышая размер пигментных пятен на кожных покровах. Для изучения связи индивидуальной зараженности с размерами тела хозяина с помощью электронной линейки в программе ImageJ мы измеряли длину особей. Для особей из пробной выборки ( $n = 30$ ) в этой же программе параллельно с длиной определяли площадь контура тела с хвостовым плавником, а также площадь одного грудного плавника. При расчете полной площади поверхности рыбы площадь тела с хвостовым плавником умножали на два, площадь грудного плавника – на четыре. Для линейной длины тела и общей площади поверхности тела было получено регрессионное уравнение зависимости. Также мы рассчитали среднюю долю площади поверхности хвостового плавника от общей площади поверхности рыбы. Для пробной выборки ( $n = 37$ ) параллельно с оценкой количества цист на лопасти хвостового плавника проводилась и оценка их числа на всем теле. Полученные средние значения позволили нам пересчитать количество паразитов на хвостовом плавнике на всю поверхность тела для всего материала – с целью сопоставления с опубликованными в литературе и собственными данными в дальнейшем.

Статистическая обработка материала проводилась в программах Past и Microsoft Excel. После проверки распределения вариантов в выборках на нормальность была проведена процедура  $\log_{10}$ -трансформации значений индекса обилия – средней численности паразитов у всех особей в выборках (включая незараженных). Помимо индекса обилия в работе оценивалась экстенсивность заражения – доля зараженных по хвостовым плавникам особей от общего числа рыб в выборках. Определение доли рыб с заражением любой части тела производилось по формуле:

$$\frac{n_1}{N} + \frac{n_2}{N} \times \left(1 - \frac{n_2}{N}\right)^{z_1},$$

где  $N$  – общее число особей в выборке,  $n_1$  – число особей с заражением на лопасти хвостового плавника,  $n_2$  – число особей без заражения на лопасти хвостового плавника,  $z_1$  – средняя доля всех паразитов на поверхности хвостового плавника,  $z_2$  – средняя доля всех паразитов на поверхности тела без учета хвостового плавника.

## Результаты

*Параметры регрессионной зависимости между длиной и площадью поверхности тела колюшки. Распределение паразитов на хвостовых плавниках рыб*

Получена следующая регрессионная зависимость общей площади от длины тела:

$$S = 0,697 SL^{1,755} (R^2 = 0,92),$$

где  $S$  – общая площадь тела, см<sup>2</sup>,  $SL$  – стандартная длина, см.

Площадь лопасти хвостового плавника рыбы в среднем составила  $7,52 \pm 0,31$  % от общей площади тела.

Доля цист на хвостовых плавниках рыб составила  $20,59 \pm 3,87$  %.

*Пространственные и временные различия рыб по индексу обилия и экстенсивности заражения*

Подробная информация о полученных значениях индекса обилия для самцов и самок, пойманных на разных нерестилищах в разное время нереста, представлена в таблице.

Индекс обилия в выборках варьировал от  $0,1 \pm 0,06$  до  $8,66 \pm 1,74$  (рис. 3). Максимальный индекс обилия для губы Сельдяная и пролива Сухая Салма был равен 22, для лагуны Колюшковая – 32 (при пересчете на всю поверхность тела – 85 и 124).

По индексу обилия рыбы из лагуны Колюшковая достоверно превосходили рыб из губы Сельдяная и пролива Сухая Салма в середине (ANOVA, Tukey's post-hoc,  $p < 0,01$ ) и конце (ANOVA, Tukey's post-hoc,  $p < 0,01$ ) нереста. В остальных случаях попарных сравнений достоверных отличий между выборками не обнаружено.

Значения индекса обилия достоверно выросли от начала к концу нереста в проливе Сухая Салма (ANOVA, Tukey's post-hoc,  $p = 0,02$ ) и лагуне Колюшковая (ANOVA, Tukey's post-hoc,

Характеристика изученных выборок трехиглой колюшки в 2016 г.

Description of the studied samples of the threespine stickleback in 2016.

Пол Sex	Период нереста Period of spawning	Станция Location	Объем выборки Sample size	Кол-во зараженных особей Number of infected individuals	Индекс обилия (хвостовой плавник) Parasite abundance (tail)	Индекс обилия (все тело) Parasite abundance (whole body)	Индекс обилия (на см <sup>2</sup> ) Parasite abundance (per sq. cm.)	
Самцы Males	Начало Beginning	Губа Inlet	15	1	0,07	0,26	0,02	
		Пролив Strait	-	-	-	-	-	
		Лагуна Lagoon	16	4	$1 \pm 0,59$	$3,86 \pm 2,28$	$0,3 \pm 0,18$	
	Середина Middle	Губа Inlet	14	1	1,57	6,07	0,4	
		Пролив Strait	12	2	$0,42 \pm 0,29$	$1,61 \pm 1,11$	$0,11 \pm 0,08$	
		Лагуна Lagoon	14	9	$4,43 \pm 2,28$	$17,09 \pm 8,79$	$1,02 \pm 0,5$	
	Конец End	Губа Inlet	15	3	$0,27 \pm 0,15$	$1,03 \pm 0,59$	$0,07 \pm 0,04$	
		Пролив Strait	15	4	$0,67 \pm 0,36$	$2,57 \pm 1,39$	$0,16 \pm 0,08$	
		Лагуна Lagoon	15	11	$10,07 \pm 2,51$	$38,86 \pm 9,68$	$2,75 \pm 0,7$	
	Самки Females	Начало Beginning	Губа Inlet	15	2	$0,13 \pm 0,09$	$0,51 \pm 0,35$	$0,03 \pm 0,02$
			Пролив Strait	30	1	0,03	0,13	0,01
			Лагуна Lagoon	15	9	$2,27 \pm 1,18$	$8,75 \pm 4,56$	$0,5 \pm 0,25$
Середина Middle		Губа Inlet	15	2	$0,13 \pm 0,09$	$0,51 \pm 0,35$	$0,03 \pm 0,02$	
		Пролив Strait	17	5	$1,82 \pm 1,3$	$7,04 \pm 5,01$	$0,36 \pm 0,25$	
		Лагуна Lagoon	16	9	$3,25 \pm 1,12$	$12,55 \pm 4,31$	$0,71 \pm 0,25$	
Конец End		Губа Inlet	15	3	$0,27 \pm 0,15$	$1,03 \pm 0,59$	$0,05 \pm 0,03$	
		Пролив Strait	15	8	$2,47 \pm 1,01$	$9,52 \pm 3,91$	$0,52 \pm 0,2$	
		Лагуна Lagoon	15	10	$7,27 \pm 2,44$	$28,05 \pm 9,42$	$1,55 \pm 0,51$	

*Примечание.* Используются следующие сокращения названий местообитаний: губа Сельдяная – Губа, пролив Сухая Салма – Пролив, лагуна Колюшковая – Лагуна.

*Note.* Legend: Seldianaya Inlet – Inlet, Sukhaya Salma Strait – Strait, Koliushkovaya Lagoon – Lagoon.

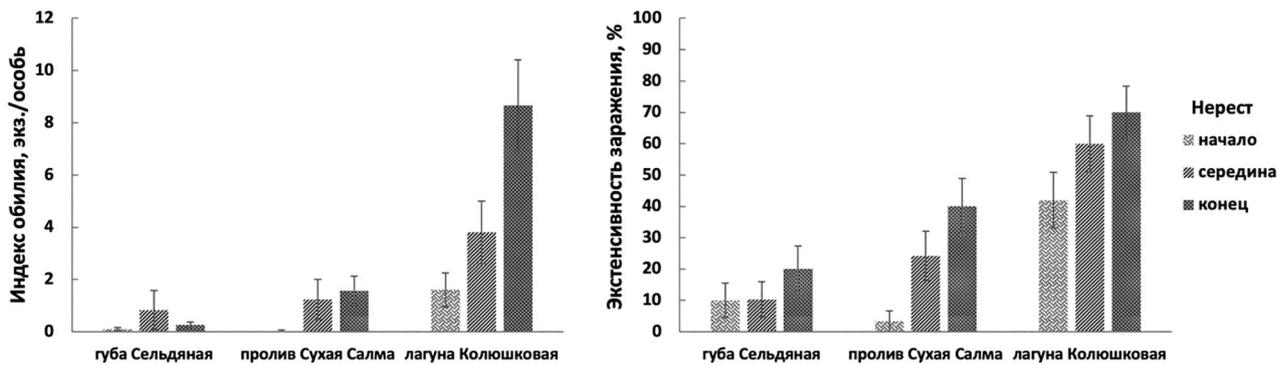


Рис. 3. Индекс обилия и экстенсивность заражения трехиглой колюшки паразитами *Cryptocotyle* spp. в 2016 году на разных станциях Керетского архипелага

Fig. 3. Abundance and prevalence of infection of the threespine stickleback with *Cryptocotyle* spp. at different stations of the Keret Archipelago in 2016

$p < 0,01$ ). Самые высокие значения индекса обилия отмечены в середине и конце нереста для рыб из лагуны Колюшковая (ANOVA, Tukey's post-hoc,  $p < 0,01$ ).

На протяжении всего нерестового сезона самцы и самки повсеместно не различались по индексу обилия (Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ , все сравнения).

Экстенсивность заражения рыб, у которых на хвостовых плавниках были обнаружены метацеркарии *Cryptocotyle* spp., варьировала в разных выборках от 3,3 до 70,0 % (рис. 3), в то время как предполагаемая экстенсивность заражения для всех рыб в выборках изменялась соответственно от 15 до 100 %. На протяжении всего нереста максимальная экстенсивность заражения наблюдалась в лагуне Колюшковая (во все даты  $p < 0,05$  при сравнении с остальными двумя биотопами). Тогда как экстенсивность заражения в проливе Сухая Салма и губе Сельдяная во все даты различалась недостоверно (ф-тест, начало нереста:  $p = 0,28$ ; середина:  $p = 0,16$ ; конец:  $p = 0,087$ ). Как и в случае с индексом обилия, отмечена очевидная тенденция увеличения доли зараженных особей от начала к концу нереста (пролив Сухая Салма: ф-тест,  $p < 0,0001$ ; лагуна Колюшковая: ф-тест,  $p = 0,025$ ).

Экстенсивность заражения у самцов и самок практически во всех выборках различалась недостоверно. Статистически достоверное превышение зараженности у самок было выявлено только для начала нереста в лагуне Колюшковая (ф-тест,  $p = 0,044$ ).

#### Размеры тела хозяина и степень зараженности паразитами

Распределение значений длины тела рыб в выборках соответствовало нормальному. Во

всех выборках самки трехиглой колюшки имели большую длину тела, чем самцы (t-тест,  $p < 0,01$ , все сравнения). Средняя длина самок составила  $6,24 \pm 0,04$  см, а длина самцов –  $5,75 \pm 0,03$  см. И у самцов, и у самок колюшки связь количества паразитов на всей поверхности с линейными размерами тела во всех биотопах и во все даты была недостоверна. Включение или исключение из анализа незараженных особей колюшки не влияло на силу корреляции между параметрами.

#### Обсуждение

На протяжении всего репродуктивного сезона трехиглой колюшки в Белом море на всех трех нерестилищах у рыб отмечено присутствие метацеркарий *Cryptocotyle* spp. Заражение этим паразитом происходит, очевидно, в прибрежной зоне, где взрослые рыбы проводят месяц-полтора и примерно столько же времени – появившаяся молодь. На нерестилищах трехиглой колюшки в Белом море обитают моллюски *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792), *L. obtusata* (L., 1758) и *Peringia ulvae*, находящиеся в числе основных потребителей мертвого органического вещества – детрита, а также обрастаний макрофитов – перифитона [Hootsman, Vermaat, 1985]. Данные виды являются первыми промежуточными хозяевами трематод рода *Cryptocotyle* в Белом море [Гранович, Горбушин, 1995; Zander et al., 2002; Левакин, 2004; Rybkina et al., 2016]. Очевидно, заражение колюшки паразитами происходит именно в прибрежье, поскольку в открытом море, где рыбы проводят большую часть своей жизни, контакт с промежуточным хозяином отсутствует.

Высокие значения индекса обилия паразита в лагуне Колюшковая, по-видимому, свя-

заны с большой плотностью распределения моллюсков *Peringia ulvae*, которая составляет  $17760 \pm 3760$  экз./м<sup>2</sup> [здесь и далее – М. В. Иванов, неопубликованные данные]. Однако в губе Сельдяная, для которой были отмечены самые низкие значения индекса обилия, плотность *Peringia ulvae* является сопоставимой с их плотностью распределения в лагуне –  $22400 \pm 6400$  экз./м<sup>2</sup>. С этим видом брюхоного моллюска ассоциирован вид *C. cancavum*. Также в губе Сельдяная встречаются моллюски рода *Littorina* – промежуточные хозяева *C. lingua*. Плотность колюшки на нерестилищах с высокой плотностью макрофита *Zostera marina*, подобных губе Сельдяная, может достигать максимальных значений (до 87 экз./м<sup>2</sup> в начале нереста), отличаясь от нерестилищ с низким обилием макрофитов или отсутствием таковых в 3–7 раз [Lajus et al., 2021]. Возможной причиной низкой зараженности колюшки в губе Сельдяная могут являться динамические гидрологические условия, в первую очередь приливно-отливные течения, препятствующие скоплению личинок паразита в прибрежной зоне [Е. В. Рыбкина, неопубликованные данные]. В лагуне Колюшковая водообмен гораздо слабее. Это, кроме того, приводит еще и к более высокой температуре в лагуне.

В проливе Сухая Салма, отличающемся сравнительно низкими значениями индекса обилия и доли зараженных рыб, вероятно, сказывается как низкая плотность *P. ulvae* ( $826 \pm 349$  экз./м<sup>2</sup>), так и сравнительно низкая, согласно нашим наблюдениям [Доргам и др., 2018], численность колюшки и, соответственно, менее выраженное массовое стайное поведение, в результате которого соседствующие рыбы могли быть подвержены заражению от одних и тех же моллюсков-хозяев [Barber, 2003]. На низкую предпочитаемость данного нерестилища также могут косвенно указывать данные, полученные при исследовании состояния биохимических систем антиоксидантной защиты у беломорской колюшки с тех же нерестилищ, которые описаны в нашей работе. Согласно полученным результатам, при повсеместном увеличении интенсивности работы антиоксидантных систем у рыб от начала к концу нереста самый высокий прирост по содержанию глутатиона отмечен именно в проливе, несмотря на сравнительно низкое содержание пептида в тканях рыб из данной локации в начале нереста. Объясняется это исследователями как возможное последствие транзитной роли места для уже отнерестившихся самцов и самок с таких нерестилищ, как Сельдяная губа, которые сравнительно раньше сородичей при-

ступили к восполнению своих запасов за счет питания [Смирнов и др., 2019]. Как и в случае губы Сельдяная, в качестве фактора, влияющего на относительно низкую интенсивность заражения в проливе Сухая Салма, можно отметить наличие выраженных приливно-отливных течений.

Оценки экстенсивности заражения взрослых рыб, полученные на основе просмотра хвостовых плавников, варьировали в разных выборках от 3 до 70 %. С учетом возможности заражения паразитами любого участка тела оценочная доля зараженных особей-производителей могла составлять от 15 до 100 %. В целом можно отметить, что экстенсивность заражения у взрослых рыб в нашей работе и молодежи колюшки в других наших исследованиях в этом районе имеет сходный характер. Например, согласно данным 2011–2012 гг., экстенсивность заражения сеголетков колюшки из губы Сельдяная составляла от 8 до 67 %, что заметно уступает уровню зараженности в лагуне Колюшковая, где он варьировал от 67 до 100 % [Rybkina et al., 2016]. В нашей работе оценочная экстенсивность заражения по всему телу в губе Сельдяная составляла от 40 до 66 %, а в лагуне Колюшковая – от 93 до 100 %. Тем не менее необходимо отметить, что указанные для молодежи значения получены в результате полного паразитологического анализа (при этом большинство цист располагалось на поверхности тела), в то время как в нашей работе просматривались только цисты на поверхности тела, что затрудняет прямое сравнение этих выборок. Однако, так как площадь прибрежных нерестилищ с зостерой в Белом море относительно невелика [Ivanova et al., 2016], можно предположить, что индекс обилия и экстенсивность заражения молодежи в целом являются несколько более низкими, чем у взрослых колюшек, из-за сравнительно малой площади поверхности тела молодежи, а также сравнительно меньшего времени нахождения в прибрежье, где распространены паразиты [Догель и др., 1958; Pennycuik, 1971]. Кроме того, сложность сравнения обусловлена высокой межгодовой изменчивостью численности рыб, в частности, связанной с климатическими условиями. Так, за относительно короткий период с 2005 по 2007 год численность колюшки в разные годы менялась примерно на порядок – с 10–20 до 122–237 экз./м<sup>2</sup> береговой линии [Иванова и др., 2007].

Анализ литературы показал, что по частоте встречаемости паразитов *Cryptocotyle* spp. беломорская популяция сопоставима с популяциями из других частей ареала. В Балтийском море экстенсивность заражения рыб *Cryptoco-*

*tyle cancanum* (Creplin, 1825) в 1998 г. достигла 87 % [Zander et al., 1984], а в Северном море у западного побережья Швеции в 1979–1981 гг. до 91 % рыб были заражены метацеркариями *Cryptocotyle lingua* (Creplin, 1825) [Barber, 2003]. В Северном море исследователи отмечали не более 35 цист на всю поверхность тела, а в Балтике – редко более нескольких экземпляров на одну особь хозяина. Индивидуальная зараженность рыб в беломорской популяции была сравнительно более высокой, экстраполированное нами на основании данных по хвостовому плавнику максимальное количество паразитов на особь в лагуне Колюшковая достигало значения 124 экземпляра. В литературе отмечается, что закрепление метацеркарий может чаще отмечаться на мягких и наиболее подвижных частях тела, таких как лопасти хвостового и грудного плавников [Miller, McCoу, 1930; цит. по: Sekhar, Threlfall, 1970]. В первом приближении результаты нашей работы частично подтверждают селективность закрепления церкарий – при средней доле площади хвостового плавника в 7,52 % от площади поверхности всего тела на этой части тела может быть сосредоточено 20,59 % всех цист, т. е. плотность цист здесь была примерно в три раза выше, чем в среднем на теле. В работе по бычкам-круглякам Азовского моря анализ паттернов распределения цист *Cryptocotyle* spp. показал похожие результаты – около 14,8 % всех цист было сосредоточено на хвостовых плавниках рыб [Корнейчук, Мартыненко, 2009], хотя дальнейшее сравнение затруднено тем, что авторы не указали долю площади хвостового плавника от площади поверхности тела. В упомянутой ранее работе по Балтике [Zander et al., 1984] наблюдаемое распределение цист по телу не отличалось от случайного, однако это могло быть связано с невысокой точностью

анализа из-за низкой встречаемости паразитов. Известны случаи очень высокой индивидуальной зараженности рыб, например, в популяции реки Санта-Инес, Калифорния, число цист *C. cancanum* у одной колюшки может достигать 2000 экземпляров. В экспериментальных условиях была определена скорость достижения средних и высоких значений индивидуальной зараженности – 2–3 недели [Wootton, 1957], но патогенные проявления такого воздействия не описаны, хотя повышенная смертность сильно зараженных особей вполне ожидаема [Sindermann, Rosenfeld, 1954; цит. по: Sindermann, Farrin, 1962]. Сопоставимые примеры интенсивности заражения регистрировали и для трехиглых колюшек из Белого моря (Д. Л. Лайус, неопубликованные данные) (рис. 4).

Учитывая, что большую часть жизни балтийская колюшка проводит в отдалении от берега, как и беломорская [Candolin, Voigt, 2003], но по биомассе превосходит вторую примерно в 100 раз [Ivanova et al., 2016], возможно, что более низкая зараженность колюшки в Балтике объясняется значительно меньшей численностью первых промежуточных хозяев-гастропод или же пик выхода церкарий по времени не совпадает с массовым нерестом рыб, когда они концентрируются в прибрежье. Более вероятным представляется первый вариант, так как в балтийской популяции колюшки пики встречаемости зараженных рыб отмечались в разное время года при относительно постоянных низких средних значениях интенсивности [Zander et al., 1984]. В то же время сравнивать значения обилия моллюсков в двух водоемах затруднительно из-за неоднородности условий обитания в прибрежье, например, по Балтике отмечаются значения плотности *Peringia* spp., варьирующие от 1000–5000 до 40 000 экз./м<sup>2</sup> [Kreft, 1991, цит. по: Zander et al., 2002; Zander



Рис. 4. Самка трехиглой колюшки, зараженная большим количеством цист *Cryptocotyle* spp. (лагуна Колюшковая, 19 июня 2013 года. Фото Д. Л. Лайуса)

Fig. 4. A female threespine stickleback infected with a large number of *Cryptocotyle* spp. (Koliushkovaya lagoon, June 19, 2013. Photo by D. L. Lajus)

et al., 2002], в то время как в Белом море также отмечается разная плотность поселений вида – от 6000 до 50 000 экз./м<sup>2</sup> [Naumov et al., 2003; Aristov et al., 2015]. Немаловажно также учитывать масштабы смертности гастропод, в том числе в результате патогенного воздействия редий [Kreft, 1991, цит. по: Zander et al., 2002; De Montaudouin et al., 2003].

Самцы и самки колюшки достоверно не различались между собой ни по индексу обилия, ни по экстенсивности заражения, что не позволяет говорить о селективности воздействия паразитов по отношению к особям конкретного пола. Кроме того, сходный уровень зараженности самцов и самок позволяет говорить о том, что они проводят в прибрежье примерно одинаковое время – поскольку заражение может происходить только в прибрежной зоне, но не в открытом море. Следовательно, наблюдаемое на нерестилищах колюшки Белого моря преобладание самок соответствует соотношению полов в популяции, а не является отражением особенностей пространственного распределения на нересте. В случае же равного соотношения полов необходимо допустить, что примерно половина самцов находится во время нереста в открытом море, что неизбежно приводило бы к их сравнительно более низкой зараженности. Это подтверждается и различиями в упитанности самцов в конце сезона, вероятно, вызванными тем, что некоторые особи на нерестилищах не принимают участие в размножении [Демчук и др., 2018].

Согласно нашим наблюдениям, основанным на исследовании хоминга колюшки с помощью мечения, подходя к берегу, рыбы обычно движутся вдоль него и быстро находят знакомые места, вероятно, по зрительным ориентирам [Ivanova et al., 2019]. Не имея привычных ориентиров по возвращении с глубины после зимовки, возможно, колюшка некоторое время перемещается вдоль береговой линии до попадания в закрытые местообитания, сходные с лагуной Колюшковая. Локальные условия, в частности изоляция и высокая прогреваемость (до 22 °С), способствуют ограничению обмена и увеличению продолжительности нахождения рыб на нерестилище и, следовательно, накоплению паразитов. В сравнении с другими нерестилищами пролив Сухая Салма отличается более слабой прогреваемостью в мае и начале июня – до 12 °С (по данным наших сезонных измерений), в то время как в литературе отмечено, что при снижении температуры воды до 10 °С появление церкарий *Cryptocotyle* spp. значительно угнетается [Sindermann, Rosenfield, 1954; цит. по: Sindermann, Farrin,

1962]. Поэтому локальные условия в проливе в начале нереста могли быть неблагоприятными не только для массового нереста колюшки, но и для эмиссии паразитов, в результате чего здесь наблюдались низкие уровни зараженности по сравнению с серединой и концом нереста.

Рис. 3 показывает, что различия в уровне зараженности у колюшки из разных нерестилищ наблюдались даже в самом начале нереста. Это может иметь два объяснения. Первое – рыбы возвращаются на те же нерестилища, где они родились (явление хоминга), сохраняя таким образом сформированные с первых недель жизни различия в уровне зараженности [Rybkina et al., 2016]. Второе – на местах зимовки колюшка полностью перемешивается, хоминг по отношению к своим нерестилищам в том пространственном масштабе, в котором мы работаем, отсутствует, и наблюдаемые различия появились уже в этом сезоне в силу разной паразитарной нагрузки в разных местообитаниях. Мы полагаем, что гораздо более вероятным является второе объяснение, поскольку на момент взятия первой пробы в желудках рыб уже была икра [А. С. Демчук, устное сообщение] и, кроме того, у колюшки хорошо выражены перемещения производителей уже после подхода в прибрежную зону [Доргам и др., 2018].

При отходе в открытое море после нереста рыбы с разных нерестилищ снова перемешиваются, при этом уровень заражения у них в целом повышается. Но для того, чтобы он сохранялся на одном среднем уровне, приходится допустить, что за время пребывания в открытом море средний уровень заражения снова снижается. Поскольку с увеличением размера рыбы ожидаемо постепенное накопление паразитов [Догель и др., 1958] и они с высокой вероятностью могут переживать зиму [McGladery, Burt, 1982], снижение заражения должно быть обусловлено повышенной смертностью зараженных рыб. Это может происходить или за счет гибели более возрастных рыб, или за счет прямого воздействия паразита на жизнеспособность рыб, приводящего к гибели более зараженных рыб независимо от их возраста. Возможно и наложение этих эффектов.

В связи с накоплением паразитов является логичным предположение о наличии прямой положительной связи между количеством регистрируемых цист и размером тела особей колюшки. В некоторых исследованиях данный эффект у колюшек был явно выражен [Garber, 2003]. Однако в нашем случае этой связи не наблюдалось. Поскольку количество цист, скорее всего, зависит от возраста, а не от раз-

мера, слабая связь между возрастом и размером у рыб после достижения половозрелости, приводящая к низкой изменчивости размеров тела взрослых рыб [Jones, Hynes, 1950; Allen, Wootton, 1982], может маскировать связь зараженности с размером. Поэтому изучение связи возрастной структуры популяции колюшки с показателями зараженности может позволить оценить степень стресса, которому подвержены рыбы разного возраста. В качестве другого возможного подхода для анализа стресса можно использовать анализ флуктуирующей асимметрии, являющейся результатом нестациональности развития, уровень которой может возрастать при стрессе разной природы [Lajus et al., 2019].

Если предположить, что связь между длиной и зараженностью положительная, то нехватка наиболее зараженных крупных рыб может быть объяснена повышенной смертностью в результате патогенного воздействия *Cryptocotyle* spp., что представляется более вероятным для самцов – в связи с численным преобладанием самок в популяции. Информация о негативном воздействии *Cryptocotyle* spp. на колюшку сильно ограничена, так как зачастую экологические взаимоотношения паразитов и хозяев подробно изучаются на примере коммерчески ценных видов рыб, к которым колюшка не относится. Полученные нами ранее данные свидетельствуют о том, что нерестовая и посленерестовая смертность рыб обоих полов невелика и составляет всего около 0,1 % от численности производителей [Golovin et al., 2019]. Однако на нересте наблюдалось различие по темпам относительной смертности полов – самцы погибали чаще (0,0044 % от числа самцов на нерестилище в день), чем самки (0,003 % от числа самок на нерестилище в день). Исходя из формирующегося сдвига соотношения полов в пользу самок, повышенная смертность самцов, ослабленных в результате заботы о гнездах и потомстве, сохраняется и после репродуктивного сезона, когда рыбы отходят от берегов на зимовки. Интенсивность заражения в популяции от года к году может сохраняться на определенном уровне и из-за более раннего созревания и гибели самцов от старости, что отмечалось в работах Де Фавери и соавторов по Фенноскандии [DeFaveri et al., 2014], а также Ершова и Сухотина по Белому морю [Yershov, Sukhotin, 2015].

## Заключение

Рассматривая изученные местообитания, в которых встречалась зараженная тремато-

дами *Cryptocotyle* spp. колюшка, можно отметить, что за счет различного сочетания условий обитания их вклад в обеспечение существования паразитарной системы не является одинаковым. Значительная часть популяции колюшки собирается на нерест в местообитаниях, сходных по средовым характеристикам с губой Сельдяная, – с обширной кормовой базой и относительно благоприятными условиями для выживания и роста молоди [Demchuk et al., 2015; Rybkina et al., 2017]. Однако доступное для гнездовых участков пространство здесь сильно ограничено, а высокая плотность рыб и каннибализм могут снижать потенциально высокую производительность нерестилища [М. В. Иванов, неопубликованные данные]. Вероятно, из-за сравнительно высокой численности производителей уровень заражения отдельных взрослых рыб здесь не является высоким, но за счет более позднего перераспределения особей хозяина может происходить эффективное распространение паразитов по водоему и их переход на следующий уровень внутри паразитарной системы. Лагуна Колюшковая, вероятно, в силу географической обособленности и отсутствия хищных рыб представляется предпочтительным нерестилищем для колюшки. С другой стороны, разнообразие кормовых организмов здесь очень ограничено [Rybkina et al., 2017], в результате чего у молоди колюшки может наблюдаться более низкое содержание полиненасыщенных жирных кислот, чем у рыб из губы Сельдяная [Мурзина и др., 2017]. Замедленный водообмен в лагуне способствует накоплению значительного количества паразитов как у взрослых рыб, так и у молоди [Rybkina et al., 2016], и именно в этом случае в наибольшей степени может проявляться патогенное воздействие на хозяина. Возможно, в случае высокой численности рождающейся молоди такие нерестилища могут очень активно вовлекаться в процессы, связанные с популяционной динамикой паразитов. Пролив Сухая Салма является типичным биотопом и местом нереста колюшки в Белом море, но условия в нем не способствуют значительному накоплению паразитов в популяции колюшки, так как плотность производителей и, вероятно, паразитов здесь сравнительно невелика. Таким образом, активно участвуя в биотических взаимодействиях в гетерогенных условиях среды и за счет реализации разных репродуктивных стратегий изменяя свою численность, трехглазая колюшка преобразует облик морской экосистемы, оказывая воздействие и на динамику тех видов паразитов, для которых является хозяином. А подобные распространенные пара-

зиты, в частности трематоды рода *Cryptocotyle*, могут являться наглядным индикатором жизненной истории и приспособленности популяции вида-хозяина.

Авторы благодарят руководство учебно-научной станции Санкт-Петербургского государственного университета за возможность проводить круглогодичные исследования на Белом море.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90158.

## Литература

- Гранович А. И., Горбушин А. М. Различия зараженности самок и самцов литоральных моллюсков родов *Littorina* и *Hydrobia* Кандалакшского залива Белого моря партенитами трематод // Паразитология. 1995. Т. 29, № 3. С. 167–178.
- Демчук А. С., Иванов М. В., Иванова Т. С., Полякова Н. В., Головин П. В., Лайус Д. Л. Питание беломорской трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) на нерестилищах // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 4. С. 42–58. doi: 10.17076/them818
- Догель В. А., Петрушевский Г. К., Полянский Ю. И. Основные проблемы паразитологии. Л.: ЛГУ, 1958. 364 с.
- Доргам А. С., Головин П. В., Иванова Т. С., Иванов М. В., Лайус Д. Л. Гетерогенность морфологических признаков трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* L. на разных этапах нереста // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 4. С. 59–73. doi: 10.17076/them819
- Иванова Т. С., Полякова Н. В., Корбулин В. В., Лайус Д. Л. Популяционная изменчивость трехиглой колюшки Керетского архипелага Кандалакшского залива Белого моря // Экологические исследования беломорских организмов. СПб.: ЗИН РАН, 2007. С. 51–52.
- Корнейчук Ю. М., Мартыненко И. М. Особенности распределения метацеркарий трематод рода *Cryptocotyle* (Heterophyidae) по поверхности тела бычка-кругляка *Appollonia (Neogobius) melanostomus* // Экология моря. 2009. Вып. 79. С. 11–14.
- Лайус Д. Л., Иванова Т. С., Шатских Е. В., Иванов М. В. «Волны жизни» беломорской колюшки // Природа. 2013. № 4. С. 43–52.
- Лайус Д. Л., Головин П. В., Зеленская А. Е., Демчук А. С., Доргам А. С., Иванов М. В., Иванова Т. С., Мурзина С. А., Полякова Н. В., Рыбкина Е. В., Юрцева А. О. Трехиглая колюшка Белого моря: популяционные характеристики и роль в экосистеме // Сибирский экологический журнал. 2020. № 2. С. 167–183. doi: 10.15372/SEJ20200203.
- Левакин И. А. Влияние инвазии трематодами *Vu-pocotyle progenetica* (Hemiuridae) и *Cryptocotyle can-cavum* (Heterophyidae) на смертность морских литоральных моллюсков *Hydrobia ulvae* (Gastropoda: Pro-sobranchia) при воздействии экстремально высокой температуры // Паразитология. 2004. Вып. 38, № 4. С. 352–358.
- Мурзина С. А., Нефедова З. А., Пеккоева С. А., Лайус Д. Л., Иванова Т. С., Немова Н. А. Вариация некоторых показателей липидного метаболизма у молоди колюшки (*Gasterosteus aculeatus* L.) из разных биотопов Кандалакшского залива Белого моря // Ученые записки ПетрГУ. 2017. Т. 8, № 169. С. 21–27.
- Смирнов Л. П., Суховская И. В., Борвинская Е. В., Лайус Д. Л. Изменчивость некоторых показателей антиоксидантной защиты в мускулатуре и печени колюшки трехиглой (*Gasterosteus aculeatus*) Белого моря в нерестовый период // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 12. С. 55–66. doi: 10.17076/eb1055
- Щепкина А. М. О воздействии метацеркарий трематод *Cryptocotyle concavum* на липидный состав тканей бычка-кругляка // Паразитология. 1981. Вып. 16, № 2. С. 185–187.
- Ali M., Wootton R. J. Effect of variable food levels on reproductive performance of breeding female three-spined sticklebacks // J. Fish. Biol. 1999. Vol. 55, no. 5. P. 1040–1053. doi: 10.1111/j.1095-8649.1999.tb00739.x
- Allen J. R. M., Wootton R. J. Age, growth and rate of food consumption in an upland population of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. // J. Fish Biol. 1982. Vol. 21, no. 1. P. 95–105. doi: 10.1111/j.1095-8649.1982.tb02827.x
- Aristov D., Varfolomeeva M., Puzachenko G. All's good in a famine? *Hydrobia ulvae* as a secondary prey for juveniles of Iceland moonshells *Amauropsis islandica* at the White Sea sandflats // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2015. Vol. 95, no. 8. P. 1601–1606. doi: 10.1017/s0025315415000454
- Artamonova V. S., Ivanova T. S., Shatskikh E. V., Ivanov M. V., Makhrov A. A., Lajus D. L. Predominance of females in the White sea populations of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*: phenotypic and genotypic screening // Meeting in St. Petersburg: Fourth International Conference, Dedicated to N. W. Timofeev-Ressovsky and His Scientific School "Modern Problems of Genetics, Radiobiology, Radioecology, and Evolution". Dubna: JINR, 2015. 198 p.
- Bakhvalova A. E., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Demchuk A. S., Movchan E. A., Lajus D. L. Long-term changes in the role of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in the White Sea: predatory fish consumption reflects fluctuating stickleback abundance during the last century // Evol. Ecol. Res. 2016. Vol. 17, no. 3. P. 317–334.
- Barber I. Parasites and size-assortative schooling in three-spined sticklebacks // Oikos. 2003. Vol. 101. P. 331–337. doi: 10.1034/j.1600-0706.2003.12458.x
- Candolin U., Voigt H.-R. Size-dependent selection on arrival times in sticklebacks: why small males arrive first // Evolution. 2003. Vol. 57, no. 4. P. 862–871. doi: 10.1554/0014-3820(2003)057[0862:ssoati]2.0.co;2
- De Montaudouin X., Blanchet H., Kisielewski I., Desclaux C., Bachelet G. Digenean trematodes moderately alter *Hydrobia ulvae* population size structure // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2003. Vol. 83, no. 2. P. 297–305. doi: 10.1017/s0025315403007112h

- DeFaveri J., Shikano T., Merilä J. Geographic variation in age structure and longevity in the Nine-Spined Stickleback (*Pungitius pungitius*) // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, no. 7: e102660. doi: 10.1371/journal.pone.0102660
- Demchuk A., Ivanov M., Ivanova T., Polyakova N., Mas-Marti E., Lajus D. Feeding patterns in seagrass beds of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* juveniles at different growth stages // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2015. 9 p. doi: 10.1017/s0025315415000569
- Golovin P. V., Bakhvalova A. E., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Smirnova K. A., Lajus D. L. Sex-biased mortality of marine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. during their spawning period in the White Sea // Evol. Ecol. Res. 2019. Vol. 20. P. 279–295.
- Hoffman G. L. The life cycle of *Crassiphiala bulboglossa* (Trematoda: Strigeida). Development of the metacercaria and cyst, and effect on the fish hosts // J. Parasitol. 1956. Vol. 42, no. 4. P. 435–444. doi: 10.2307/3274528
- Hootsmans M. J. M., Vermaat J. E. The effect of periphyton-grazing by three epifaunal species on the growth of *Zostera marina* L. under experimental conditions // Aquatic Botany. 1985. Vol. 22, no. 1. P. 83–88. doi: 10.1016/0304-3770(85)90032-4
- Ivanova T. S., Ivanov M. V., Golovin P. V., Polyakova N. V., Lajus D. L. The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality, and abundance // Evol. Ecol. Res. 2016. Vol. 3. P. 301–315.
- Ivanova T. S., Ivanov M. V., Bakhvalova A. E., Polyakova N. V., Golovin P. V., Kucheryavyy A. V., Yurtseva A. O., Smirnova K. A., Lajus D. L. Homing ability and site fidelity of marine threespine stickleback on spawning grounds // Evol. Ecol. Res. 2019. Vol. 20. P. 297–315.
- Jones J. W., Hynes H. B. N. The age and growth of *Gasterosteus aculeatus*, *Pygosteus pungitius* and *Spinachia vulgaris* as shown by their otoliths // J. Anim. Ecol. 1950. Vol. 19. P. 59–73. doi: 10.2307/1571
- Karvonen A., Lindström K. Spatiotemporal and gender-specific parasitism in two species of gobiid fish // Ecol. Evol. 2018. Vol. 8, no. 12. P. 6114–6123. doi: 10.1002/ece3.4151
- Kreft K. A. Befalls- und Populationsdynamik ausgewählter digener Trematoden und ihrer Wirte in der Schlei: PhD thesis. University of Hamburg, Hamburg, 1991. doi: 10.1007/BF02368399
- Lajus D. L., Golovin P. V., Yurtseva A. O., Ivanova T. S., Dorgham A. S., Ivanov M. V. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress and fitness in stickleback: analysis of publications and testing cranial structures // Evol. Ecol. Res. 2019. Vol. 20. P. 83–106.
- Lajus D. L., Lysenko L. A., Kantserova N. P., Tushina E. D., Ivanova T. S., Nemova N. N. Spatial heterogeneity and temporal dynamics of protein-degrading activity and life-history traits in threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* // Int. Aquat. Res. 2020. Vol. 12(3). P. 161–170. doi: 10.22034/IAR.2020.1894323.1019
- Lajus D. L., Ivanova T. S., Rybkina E. C., Lajus Yu. A., Ivanov M. V. Multidecadal fluctuations of threespine stickleback in the White Sea and their correlation with temperature // ICES J. Mar. Sci. 2021. P. 1–13. doi: 10.1093/icesjms/fsaa192
- Lemly A. D., Esch G. W. Population biology of the trematode *Uvulifer ambloplitis* (Hughes, 1927) in juvenile bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*, and largemouth bass, *Micropterus salmoides* // J. Parasitol. 1984. Vol. 70, no. 4. P. 466–474. doi: 10.2307/3281394
- Mazzi D. Parasites make male pipefish careless // J. Evol. Biol. 2004. Vol. 17. P. 519–527. doi: 10.1111/j.1420-9101.2004.00704.x
- McGladdery S. E., Burt M. D. B. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*) // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1982. Vol. 42. P. 1957–1968. doi: 10.1139/f85-243
- Miller H. M., McCoy O. R. An experimental study of behavior of *Cercaria floridensis* in relation to its fish intermediate host // J. Parasitol. 1930. Vol. 16, no. 4. P. 185–197. doi: 10.2307/3271513
- Mori S. Geographical variations in freshwater populations of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, in Japan // J. J. Ichthyol. 1987. Vol. 34. P. 165–175. doi: 10.1007/bf02904141
- Naumov A. D., Berger V. Ya., Galaktionov K. V. Features of the White Sea ecosystems: the structure and dynamics of the benthical and pelagic communities // Oceanology. 2003. Vol. 43. P. 134–144.
- Pennycuik L. Frequency distributions of parasites in a population of three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus* L., with particular reference to the negative binomial distributions // Parasitology. 1971. Vol. 63, no. 3. P. 389–406. doi: 10.1017/s0031182000079920
- Poulin R. Age-dependent effects of parasites on anti-predator responses in two New Zealand freshwater fish // Oecologia. 1993. Vol. 96. P. 431–438. doi: 10.1007/BF00317516
- Rosenqvist G., Johansson K. Male avoidance of parasitized females explained by direct benefits in a pipefish // Animal Behaviour. 1995. Vol. 49, no. 4. P. 1039–1045. doi: 10.1006/anbe.1995.0133
- Rybkina E. V., Demchuk A. S., Ivanova T. S., Lajus D. L., Galaktionov K. V. Parasite infestation of marine threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) during early ontogenesis // Evol. Ecol. Res. 2016. Vol. 17. P. 335–354.
- Rybkina E. V., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Kucheryavyy A. V., Lajus D. L. Habitat preference of the three-spined stickleback juveniles in the White Sea in experimental conditions and in the wild eelgrass // J. Mar. Biol. Assoc. UK. 2017. Vol. 97, no. 7. P. 1437–1445. doi: 10.1017/s0025315416000825
- Sekhar C. S., Threlfall W. Helminth parasites of the gunner, *Tautoglabrus adspersus* (Walbaum) in Newfoundland // J. Helminthol. 1970. Vol. 44, no. 2. P. 169–188. doi: 10.1017/s0022149x00021726
- Sindermann C. J., Rosenfeld A. Diseases of fishes of the Western North Atlantic. III. Mortalities of sea herring (*Clupea harengus*) caused by larval trematode invasion // Maine Dept. Sea and Shore Fish Res. Bull. 1954. No. 21. P. 1–16.
- Sindermann C. J., Farrin A. E. Ecological studies of *Cryptocotyle lingua* (Trematoda: Heterophy-

idae) whose larvae cause “pigment spots” of marine fish // *Ecology*. 1962. Vol. 43, no. 1. P. 69–75. doi: 10.2307/1932041

Whoriskey F. G., FitzGerald G. J., Reebst S. G. The breeding-season population structure of three sympatric, territorial sticklebacks (Pisces: Gasterosteidae) // *J. Fish Biol.* 1986. Vol. 29. P. 635–648. doi: 10.1111/j.1095-8649.1986.tb04980.x

Wootton D. M. The life history of *Cryptocotyle concavum* (Creplin, 1825) Fiscoeder, 1903 (Trematoda: Heterophyidae) // *J. Parasitol.* 1957. Vol. 43, no. 3. P. 271–279. doi: 10.2307/3274345

Yershov P., Sukhotin A. Age and growth of marine three-spined stickleback in the White Sea 50 years af-

ter a population collapse // *Polar. Biol.* 2015. Vol. 38. P. 1813–1823. doi: 10.1007/s00300-015-1743-7

Zander C. D., Kollra H.-G., Antholz B., Mayer W., Westphal D. Small-sized euryhaline fish as intermediate hosts of the digenetic trematode *Cryptocotyle concavum* // *Helgoländer Meeresuntersuchungen*. 1984. Vol. 37. P. 433–443. doi: 10.1007/bf01989322

Zander C. D., Koçoglu Ö., Skroblijes M., Strohbach U. Parasite populations and communities from the shallow littoral of the Orther Bight (Fehmarn, SW Baltic Sea) // *Parasitol. Res.* 2002. Vol. 88. P. 734–744. doi: 10.1007/s00436-002-0652-1

Поступила в редакцию 19.08.2020

## References

Demchuk A. S., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Polyakova N. V., Golovin P. V., Laius D. L. Pitanie belomorskoj trekhigloi kolyushki *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) na nerestilishchah [Feeding of the threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758) in spawning grounds]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 4. P. 42–58. doi: 10.17076/them818

Dogel' V. A., Petrushevskii G. K., Polyanskii Yu. I. Osnovnye problemy parazitologii [Principal issues of parasitology]. Leningrad: LGU, 1958. 364 p.

Dorgam A. S., Golovin P. V., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Laius D. L. Geterogennost' morfologicheskikh priznakov trekhigloi kolyushki *Gasterosteus aculeatus* L. na raznykh etapakh neresta [Morphological variation of threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) on different stages of spawning period]. *Trudy KarNTs RAS* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 4. P. 59–73. doi: 10.17076/them819

Granovich A. I., Gorbushin A. M. Razlichiya zarazhennosti samok i samtsov litoral'nykh mollyuskov rodov *Littorina* i *Hydrobia* Kandalakshskogo zaliva Belogo morya partenitami trematod [Differences in the trematode parthenite infection rate in males and females of the littoral snail genera *Littorina* and *Hydrobia* in the Kandalaksha Bay of White Sea]. *Parazitologiya* [Parasitology]. 1995. Vol. 29, no. 3. P. 167–178.

Ivanova T. S., Polyakova N. V., Korbulin V. V., Lajus D. L. Populyatsionnaya izmenchivost' trekhigloi kolyushki Keretskogo arhipelaga Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Population variability of the threespine stickleback of the Keret Archipelago of the Kandalaksha Bay of the White Sea]. *Ekol. issled. belomorskich organizmov* [Ecol. studies of the White Sea organisms]. St. Petersburg: ZIN RAN, 2007. P. 51–52.

Korneichuk Yu. M., Martynenko I. M. Osobennosti raspredeleniya metatserkarii trematod roda *Cryptocotyle* (Heterophyidae) po poverkhnosti tela bychka-kruglyaka *Appolonia* (*Neogobius*) *melanostomus* [Features of the distribution of metacercariae of trematodes of the genus *Cryptocotyle* (Heterophyidae) over the body surface of the round goby *Appolonia* (*Neogobius*) *melanostomus*]. *Ekol. morya* [Ecol. of the Sea]. 2009. Vol. 79. P. 11–14.

Laius D. L., Ivanova T. S., Shatskih E. V., Ivanov M. V. “Volny zhizni” belomorskoj kolyushki [“Waves of life”

of the White Sea stickleback]. *Priroda* [Nature]. 2013. No. 4. P. 43–52.

Levakin I. A. Vliyaniye invazii trematodami *Bunocotyle progenetica* (Hemiuridae) i *Cryptocotyle concavum* (Heterophyidae) na smertnost' morskikh litoral'nykh mollyuskov *Hydrobia ulvae* (Gastropoda: Prosobranchia) pri vozdeistvii ekstremal'no vysokoi temperatury [Effect of invasion by trematodes *Bunocotyle progenetica* (Hemiuridae) and *Cryptocotyle concavum* (Heterophyidae) on mortality of marine littoral molluscs *Hydrobia ulvae* (Gastropoda: Prosobranchia) exposed to extreme high temperatures]. *Parazitologiya* [Parasitology]. 2004. Vol. 38, no. 4. P. 352–358.

Murzina S. A., Nefedova Z. A., Pekkoeva S. A., Lajus D. L., Ivanova T. S., Nemova N. A. Variatsiya nekotorykh pokazatelei lipidnogo metabolizma u molodi kolyushki (*Gasterosteus aculeatus* L.) iz raznykh biotopov Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Variation of some parameters of lipid metabolism in juvenile stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) from different biotopes of the Kandalaksha Bay of the White Sea]. *Uchenye zapiski PetrGU* [Proceed. Petrozavodsk St. Univ.]. 2017. Vol. 8, no. 169. P. 21–27.

Shchepkina A. M. O vozdeistvii metatserkarii trematod *Cryptocotyle concavum* na lipidnyi sostav tkanei bychka-kruglyaka [On the effect of metacercariae of the trematodes of *Cryptocotyle concavum* on the lipid suction of the tissues of the round goby]. *Parazitologiya* [Parasitology]. 1981. Vol. 16, no. 2. P. 185–187.

Smirnov L. P., Sukhovskaya I. V., Borvinskaya E. V., Laius D. L. Izmenchivost' nekotorykh pokazatelei antioksidantnoi zashchity v muskulature i pecheni kolyushki trekhigloi (*Gasterosteus aculeatus*) Belogo morya v nerestovyi period [Variability of some indicators of antioxidant protection in the muscles and liver of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) of the White Sea during the spawning period]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2019. No. 12. P. 55–66. doi: 10.17076/eb1055

Ali M., Wootton R. J. Effect of variable food levels on reproductive performance of breeding female three-spined sticklebacks. *J. Fish. Biol.* 1999. Vol. 55, no. 5. P. 1040–1053. doi: 10.1111/j.1095-8649.1999.tb00739.x

Allen J. R. M., Wootton R. J. Age, growth and rate of food consumption in an upland population of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculea-*

- tus L. *J. Fish Biol.* 1982. Vol. 21, no. 1. P. 95–105. doi: 10.1111/j.1095-8649.1982.tb02827.x
- Aristov D., Varfolomeeva M., Puzachenko G. All's good in a famine? *Hydrobia ulvae* as a secondary prey for juveniles of Iceland moonsnails *Amauropsis islandica* at the White Sea sandflats. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 2015. Vol. 95, no. 8. P. 1601–1606. doi: 10.1017/s0025315415000454
- Artamonova V. S., Ivanova T. S., Shatskikh E. V., Ivanov M. V., Makhrov A. A., Lajus D. L. Predominance of females in the White sea populations of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus*: phenotypic and genotypic screening. *Meeting in St. Petersburg: Fourth International Conference, Dedicated to N. W. Timofeev-Ressovsky and His Scientific School "Modern Problems of Genetics, Radiobiology, Radioecology, and Evolution"*. Dubna: JINR, 2015. 198 p.
- Bakhvalova A. E., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Demchuk A. S., Movchan E. A., Lajus D. L. Long-term changes in the role of threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* in the White Sea: predatory fish consumption reflects fluctuating stickleback abundance during the last century. *Evol. Ecol. Res.* 2016. Vol. 17, no. 3. P. 317–334.
- Barber I. Parasites and size-assortative schooling in three-spined sticklebacks. *Oikos*. Vol. 101. P. 331–337. doi: 10.1034/j.1600-0706.2003.12458.x
- Candolin U., Voigt H.-R. Size-dependent selection on arrival times in sticklebacks: why small males arrive first // *Evolution*. 2003. Vol. 57, no. 4. P. 862–871. doi: 10.1554/0014-3820(2003)057[0862:ssoati]2.0.co;2
- De Montaudouin X., Blanchet H., Kisielewski I., Desclaux C., Bachelet G. Digenean trematodes moderately alter *Hydrobia ulvae* population size structure // *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 2003. Vol. 83, no. 2. P. 297–305. doi: 10.1017/s0025315403007112h
- DeFaveri J., Shikano T., Merilä J. Geographic variation in age structure and longevity in the Nine-Spined Stickleback (*Pungitius pungitius*) // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9, no. 7: e102660. doi: 10.1371/journal.pone.0102660
- Demchuk A., Ivanov M., Ivanova T., Polyakova N., Mas-Marti E., Lajus D. Feeding patterns in seagrass beds of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* juveniles at different growth stages. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 2015. 9 p. doi: 10.1017/s0025315415000569
- Golovin P. V., Bakhvalova A. E., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Smirnova K. A., Lajus D. L. Sex-biased mortality of marine threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. during their spawning period in the White Sea. *Evol. Ecol. Res.* 2019. Vol. 20. P. 279–295.
- Hoffman G. L. The life cycle of *Crassiphiala bulboglossa* (Trematoda: Strigeida). Development of the metacercaria and cyst, and effect on the fish hosts. *J. Parasitol.* 1956. Vol. 42, no. 4. P. 435–444. doi: 10.2307/3274528
- Hootsmans M. J. M., Vermaat J. E. The effect of periphyton-grazing by three epifaunal species on the growth of *Zostera marina* L. under experimental conditions. *Aquatic Botany*. 1985. Vol. 22, no. 1. P. 83–88. doi: 10.1016/0304-3770(85)90032-4
- Ivanova T. S., Ivanov M. V., Golovin P. V., Polyakova N. V., Lajus D. L. The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality, and abundance. *Evol. Ecol. Res.* 2016. Vol. 3. P. 301–315.
- Ivanova T. S., Ivanov M. V., Bakhvalova A. E., Polyakova N. V., Golovin P. V., Kucheryavyy A. V., Yurtseva A. O., Smirnova K. A., Lajus D. L. Homing ability and site fidelity of marine threespine stickleback on spawning grounds. *Evol. Ecol. Res.* 2019. Vol. 20. P. 297–315.
- Jones J. W., Hynes H. B. N. The age and growth of *Gasterosteus aculeatus*, *Pygosteus pungitius* and *Spinachia vulgaris* as shown by their otoliths. *J. Anim. Ecol.* 1950. Vol. 19. P. 59–73. doi: 10.2307/1571
- Karvonen A., Lindström K. Spatiotemporal and gender-specific parasitism in two species of gobiid fish. *Ecol. Evol.* 2018. Vol. 8, no. 12. P. 6114–6123. doi: 10.1002/ece3.4151
- Kreft K. A. Befalls- und Populationsdynamik ausgewählter digener Trematoden und ihrer Wirte in der Schlei: PhD thesis. University of Hamburg, Hamburg, 1991. doi: 10.1007/BF02368399
- Lajus D. L., Golovin P. V., Yurtseva A. O., Ivanova T. S., Dorgham A. S., Ivanov M. V. Fluctuating asymmetry as an indicator of stress and fitness in stickleback: analysis of publications and testing cranial structures. *Evol. Ecol. Res.* 2019. Vol. 20. P. 83–106.
- Lajus D. L., Golovin P. V., Zelenskaia A. E., Demchuk A. S., Dorgham A. S., Ivanov M. V., Ivanova T. S., Murzina S. A., Polyakova N. V., Rybkina E. V., Yurtseva A. O. Threespine Stickleback of the White Sea: Population Characteristics and Role in the Ecosystem. *Contemporary problems of Ecology*. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 132–145. doi: 10.1134/S1995425520020079
- Lajus D. L., Lysenko L. A., Kantserova N. P., Tushina E. D., Ivanova T. S., Nemova N. N. Spatial heterogeneity and temporal dynamics of protein-degrading activity and life-history traits in threespine stickleback *Gasterosteus aculeatus*. *Int. Aquat. Res.* 2020. Vol. 12(3). P. 161–170. doi: 10.22034/IAR.2020.1894323.1019
- Lajus D. L., Ivanova T. S., Rybkina E. C., Lajus Yu. A., Ivanov M. V. Multidecadal fluctuations of threespine stickleback in the White Sea and their correlation with temperature. *ICES J. Marine Sci.* 2021. P. 1–13. doi: 10.1093/icesjms/fsaa192
- Lemly A. D., Esch G. W. Population biology of the trematode *Uvulifer ambloplitis* (Hughes, 1927) in juvenile bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*, and largemouth bass, *Micropterus salmoides*. *J. Parasitol.* 1984. Vol. 70, no. 4. P. 466–474. doi: 10.2307/3281394
- Mazzi D. Parasites make male pipefish careless. *J. Evol. Biol.* 2004. Vol. 17. P. 519–527. doi: 10.1111/j.1420-9101.2004.00704.x
- McGladdery S. E., Burt M. D. B. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1982. Vol. 42. P. 1957–1968. doi: 10.1139/f85-243
- Miller H. M., McCoy O. R. An experimental study of behavior of *Cercaria floridensis* in relation to its fish intermediate host. *J. Parasitol.* 1930. Vol. 16, no. 4. P. 185–197. doi: 10.2307/3271513
- Mori S. Geographical variations in freshwater populations of the three-spined stickleback, *Gasterosteus acu-*

*leatus*, in Japan. *J. J. Ichthyol.* 1987. Vol. 34. P. 165–175. doi: 10.1007/bf02904141

Naumov A. D., Berger V. Ya., Galaktionov K. V. Features of the White Sea ecosystems: the structure and dynamics of the benthical and pelagic communities. *Oceanology.* 2003. Vol. 43. P. 134–144.

Pennyquick L. Frequency distributions of parasites in a population of three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus* L., with particular reference to the negative binominal distributions. *Parasitology.* 1971. Vol. 63, no. 3. P. 389–406. doi: 10.1017/s0031182000079920

Poulin R. Age-dependent effects of parasites on anti-predator responses in two New Zealand freshwater fish. *Oecologia.* 1993. Vol. 96. P. 431–438. doi: 10.1007/BF00317516

Rosenqvist G., Johansson K. Male avoidance of parasitized females explained by direct benefits in a pipefish. *Animal Behaviour.* 1995. Vol. 49, no. 4. P. 1039–1045. doi: 10.1006/anbe.1995.0133

Rybkina E. V., Demchuk A. S., Ivanova T. S., Lajus D. L., Galaktionov K. V. Parasite infestation of marine threespine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) during early ontogenesis. *Evol. Ecol. Res.* 2016. Vol. 17. P. 335–354.

Rybkina E. V., Ivanova T. S., Ivanov M. V., Kucheryavyi A. V., Lajus D. L. Habitat preference of the three-spined stickleback juveniles in the White Sea in experimental conditions and in the wild eelgrass. *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 2017. Vol. 97, no. 7. P. 1437–1445. doi: 10.1017/s0025315416000825

Sekhar C. S., Threlfall W. Helminth parasites of the gunner, *Tautoglabrus adspersus* (Walbaum) in Newfoundland. *J. Helminthol.* 1970. Vol. 44, no. 2. P. 169–188. doi: 10.1017/s0022149x00021726

Sindermann C. J., Rosenfeld A. Diseases of fishes of the Western North Atlantic. III. Mortalities of sea herring (*Clupea harengus*) caused by larval trematode invasion. *Maine Dept. Sea and Shore Fish Res. Bull.* 1954. No. 21. P. 1–16.

Sindermann C. J., Farrin A. E. Ecological studies of *Cryptocotyle lingua* (Trematoda: Heterophyidae) whose larvae cause “pigment spots” of marine fish. *Ecology.* 1962. Vol. 43, no. 1. P. 69–75. doi: 10.2307/1932041

Whoriskey F. G., FitzGerald G. J., Reebst S. G. The breeding-season population structure of three sympatric, territorial sticklebacks (Pisces: Gasterosteidae). *J. Fish Biol.* 1986. Vol. 29. P. 635–648. doi: 10.1111/j.1095-8649.1986.tb04980.x

Wootton D. M. The life history of *Cryptocotyle concavum* (Creplin, 1825) Fiscoeder, 1903 (Trematoda: Heterophyidae). *J. Parasitol.* 1957. Vol. 43, no. 3. P. 271–279. doi: 10.2307/3274345

Yershov P., Sukhotin A. Age and growth of marine three-spined stickleback in the White Sea 50 years after a population collapse. *Polar. Biol.* 2015. Vol. 38. P. 1813–1823. doi: 10.1007/s00300-015-1743-7

Zander C. D., Kollra H.-G., Antholz B., Mayer W., Westphal D. Small-sized euryhaline fish as intermediate hosts of the digenetic trematode *Cryptocotyle concavum*. *Helgoländer Meeresuntersuchungen.* 1984. Vol. 37. P. 433–443. doi: 10.1007/bf01989322

Zander C. D., Koçoglu Ö., Skroblijes M., Strohbach U. Parasite populations and communities from the shallow littoral of the Orther Bight (Fehmarn, SW Baltic Sea). *Parasitol. Res.* 2002. Vol. 88. P. 734–744. doi: 10.1007/s00436-002-0652-1

Received August 19, 2020

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Головин Павел Валерьевич

младший научный сотрудник, аспирант кафедры иктиологии и гидробиологии биологического факультета Санкт-Петербургский государственный университет  
16-я линия В. О., 29, Санкт-Петербург, Россия, 199178  
эл. почта: pasha-golovin@yandex.ru  
тел.: +79216506066

### Иванов Михаил Валерьевич

доцент кафедры иктиологии и гидробиологии биологического факультета, к. б. н.  
Санкт-Петербургский государственный университет  
16-я линия В. О., 29, Санкт-Петербург, Россия, 199178  
эл. почта: ivmisha@gmail.com

### Иванова Татьяна Сослановна

ассистент кафедры иктиологии и гидробиологии биологического факультета  
Санкт-Петербургский государственный университет  
16-я линия В. О., 29, Санкт-Петербург, Россия, 199178  
эл. почта: tut2000@gmail.com

## CONTRIBUTORS:

### Golovin, Pavel

St. Petersburg State University  
29, 16<sup>th</sup> Line V. O., 199178 St. Petersburg, Russia  
e-mail: pasha-golovin@yandex.ru  
tel.: +79216506066

### Ivanov, Mikhail

St. Petersburg State University  
29, 16<sup>th</sup> Line V. O., 199178 St. Petersburg, Russia  
e-mail: ivmisha@gmail.com

### Ivanova, Tatiana

St. Petersburg State University  
29, 16<sup>th</sup> Line V. O., 199178 St. Petersburg, Russia  
e-mail: tut2000@gmail.com

**Рыбкина Елена Викторовна**

младший научный сотрудник Беломорской биологической станции «Картеш»  
Зоологический институт РАН  
Университетская наб., 1, Санкт-Петербург, Россия, 199034  
эл. почта: onebat@yandex.ru

**Лайус Дмитрий Людвигович**

доцент кафедры ихтиологии и гидробиологии  
биологического факультета, к. б. н.  
Санкт-Петербургский государственный университет  
16-я линия В. О., 29, Санкт-Петербург, Россия, 199178  
эл. почта: dlajus@gmail.com

**Rybkina, Elena**

White Sea Biological Research Station Kartesh,  
Zoological Institute, Russian Academy of Sciences  
1 Universitetskaya Emb., 199034 St. Petersburg, Russia  
e-mail: onebat@yandex.ru

**Lajus, Dmitry**

St. Petersburg State University  
29 16<sup>th</sup> Line V. O., 199178 St. Petersburg, Russia  
e-mail: dlajus@gmail.com

## **ИСТОРИЯ КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН: ЛЮДИ И СОБЫТИЯ**

### **ТВОРЧЕСКИЙ ПУТЬ ВАЛЕНТИНА ДАНИЛОВИЧА ЛОПАТИНА (1908–1997)**



Валентин Данилович Лопатин, широко известный геоботаник России, доктор биологических наук, заслуженный деятель науки Карельской

АССР, один из основателей карельской школы болотоведения, родился 10 августа 1908 года в деревне Лопатиха Нолинского уезда бывшей Вятской губернии (ныне Кировская область).

В 1918 г. семья переехала в Петроград, где он за 6 лет окончил единую трудовую школу-десятилетку. В 1924 г. Валентин Данилович поступил в Географический институт, который в 1925 г. вошел как факультет в состав Ленинградского университета (ЛГУ).

На научный кругозор Валентина Даниловича большое влияние оказали лекции академиков АН СССР Л. С. Берга, А. Е. Ферсмана, Б. Б. Полынова. В числе преподавателей факультета были выдающиеся геоботаники страны, такие как академик АН СССР В. Н. Сукачев, член-корреспондент АН СССР Н. И. Кузнецов, профессора Ю. Д. Цинзерлинг, Р. И. Аболин, Б. Н. Городков.

В 1931 г. В. Д. Лопатин окончил географический факультет Ленинградского госуниверситета и начал свою трудовую деятельность в должности геоботаника в Ленинградском отделении Всесоюзного научно-исследовательского института торфяной промышленности, исследовав ряд болот Ленинградской области, Карелии и Кольского полуострова.

В 1932 году В. Д. Лопатин поступил в аспирантуру при ЛГУ по специальности «фитоцено-

логия». Научным руководителем диссертанта был геоботаник профессор А. П. Шенников.

С 1934 г. В. Д. Лопатин работал ассистентом Саблинской научно-учебной станции географического факультета ЛГУ, а с 1938 г. – еще и ассистентом кафедры ботанической географии.

В 1937 г. Валентин Данилович защитил кандидатскую диссертацию на тему «Тесовский болотный массив. Геоботанический очерк», в которой впервые была обоснована фациальная структура болот, предложен метод определения промышленных свойств торфяника путем установления связи комплексов растительности со строением торфяной залежи.

В довоенный период В. Д. Лопатин участвовал в маршрутных исследованиях болот в Ленинградской, Новгородской, Ивановской, Калининской, Мурманской, Ярославской, Кировской областях и Карело-Финской ССР. Он обследовал ряд болот, находящихся на территории будущего Рыбинского водохранилища, с целью определения возможностей всплывания торфа. Одновременно Валентин Данилович продолжал стационарное изучение Гладкого болота в Ленинградской области, где впервые им были поставлены эксперименты с пересадкой дернин сфагновых мхов в другие экологические условия. Для изучения вопросов практического применения болотоведения В. Д. Лопатин некоторое время работал на Синявинских торфоразработках. Параллельно с работой по болотной тематике он проводил исследования по введению в культуру водяного риса *Zizania aquatica*, *Z. latifolia*. Эти материалы намеревался использовать для докторской диссертации.

Но началась Великая Отечественная война. В 1942 г. после окончания пехотного училища В. Д. Лопатин воевал на Воронежском фронте, где был ранен. В конце 1943 г. после длительного лечения он возвратился в университет и продолжил работу на географическом факультете в должности ассистента на кафедре ботанической географии, а с 1946 г. – доцента той же кафедры. В эти годы он читал курсы лекций по растительности СССР, ботанической географии, фитоценологии, болотоведению, луговедению, методике геоботанических исследований и др. Наряду с преподаванием он активно занимался исследованиями по проблемам болотоведения, опубликовал ставшие классическими работы по растительности и фациальной структуре Гладкого болота.

С 1956 по 1958 г. В. Д. Лопатин заведовал лабораторией биологии Сахалинского комплексного НИИ СО АН СССР по изучению растительности о. Сахалин.

В 1958 г. он переехал в Петрозаводск, где по конкурсу был принят на работу в Институт биологии Карельского филиала АН СССР и до 1974 г. работал заведующим лабораторией геоботаники, а затем до 1987 г. – научным консультантом лаборатории болотоведения. В 1972 г. по научному докладу по совокупности опубликованных работ на тему «Закономерности развития лугов и болот и их связи с режимом влажности почвы» В. Д. Лопатину была присуждена ученая степень доктора биологических наук.

Велико и разнообразно научное наследие Валентина Даниловича Лопатина. Его труды в области общей геоботаники, болотоведения, луговедения, гидрологии широко известны и до сих пор актуальны и востребованы. Настольными книгами многих ученых являются монографические описания Гладкого и Тесовского болот.

Развивая идеи Р. И. Аболина, В. Д. Лопатин еще в своей кандидатской диссертации ввел понятие о болотных фациях – участках пространственной структуры болот с однородным растительным покровом, микрорельефом и определенными экологическими условиями. Болотные фации являются не только единицей первичного морфологического подразделения болот, но и единицей их типологической классификации. В. Д. Лопатин указывал, что важнейшим признаком выделения болотных фаций является их растительность, так как она – исходный материал торфообразования, но в таксономические единицы фации объединяются в сукцессионной и экологической связи, в соответствии с закономерностями развития болот. При этом Валентин Данилович подчеркивал, что при классификационных построениях следует учитывать факт запаздывания сукцессий растительности по сравнению с изменениями экологических условий. Он выделил дистрофный тип болотных фаций, для которого характерно затухание процесса торфонакопления вплоть до его прекращения.

Основываясь на классификации болотных фаций, Валентин Данилович разработал оригинальные классификации видов торфа и торфяных залежей и ключи для их определения.

По данным многолетних наблюдений и расчетов максимально возможного накопления воды верховыми болотами Валентин Данилович теоретически обосновал наличие особого гидрологического горизонта в верхнем слое торфяной залежи, который он назвал деятельным. Деятельный горизонт, по В. Д. Лопатину, является нижней границей болотных фаций. Понятие и термин «деятельный гидрологиче-

ский горизонт» прочно вошли в предмет изучения гидрологии болот.

В ряде работ В. Д. Лопатина рассматриваются вопросы водного режима и его влияния на растительность. Он отстаивал положение о том, что не может быть избыточного увлажнения. Избыток воды сам по себе не вреден для растений, а в большинстве случаев имеется хотя бы временный недостаток воды в почве. В. Д. Лопатин впервые обратил внимание на то, что многие растительные сообщества переживают периодическую засуху. Он дал оригинальную классификацию режимов увлажнения, основанную на степени обеспеченности растений водой, что выражается в господстве в сообществах растений определенных экологических групп.

Режим влажности почвы В. Д. Лопатин считал одним из ведущих факторов в распределении растительности. Закономерностями формирования почвы, мощность и влагоемкость которой обуславливает объем запасов влаги в корнеобитаемом слое, он объяснил микропоясное распределение растительности в карельском сельговом ландшафте и инверсию растительных поясов в горах. Валентину Даниловичу принадлежит оригинальная идея кислородной мелиорации обводненных почв без удаления воды. Он считал, что максимальную жизнедеятельность растений можно обеспечить только при постоянном снабжении их водой без ограничений, поэтому Валентин Данилович предлагал не осушать болота, а принудительно вводить в обводненные каналы кислород. Он также считал, что основной причиной безлесия болот является слабая аэрация субстрата.

В. Д. Лопатин всегда интересовался вопросами общей геоботаники. Он одним из первых показал, что условия среды в пределах однородного фитоценоза могут варьировать довольно сильно. Он указывал, что экологический ареал ассоциации шире, чем у входящих в нее фитоценозов, и ареалы экологически близких ассоциаций нередко перекрываются. При выделении ассоциации, как утверждал В. Д. Лопатин, не обязательно, чтобы условия среды во всех сообществах были одинаковы, нужно только, чтобы ее экологический ареал был непрерывным. Смена фитоценоза во времени происходит за крайними границами экологического ареала, когда сложившиеся фитоценотические взаимоотношения между растениями в фитоценозе нарушаются и заменяются другими.

Валентин Данилович уделял большое внимание изучению связи микрокомплексности растительного покрова с условиями среды. Он утверждал, что микрокомплексность является

закономерным явлением при неблагоприятных условиях среды. В благоприятных условиях микрокомплексность среды нивелируется воздействием мощных эдификаторов-виолентов. Закономерности размещения микрокомплексного растительного покрова он показал на разработанной им схеме фациально-экологических рядов.

В. Д. Лопатин, развивая учение Л. Г. Раменского о фитоценотипах, наполнил это учение новым содержанием, установив взаимосвязь между ценотипами растений-эдификаторов. Он показал, что эти категории должны отличаться соотношениями географического и экофитоценотического ареалов, экологического и фитоценотического оптимумов, реакцией на улучшение условий существования. В. Д. Лопатин впервые занимался пересадкой дернин сфагновых мхов тех или иных видов в сообщества с несвойственными им экологическими условиями с целью выявления их экологического и фитоценотического оптимумов.

Рассматривая вопросы классификации растительности, В. Д. Лопатин предлагал шире использовать групповые доминанты, не относить к разным ассоциациям сообщества, в которых доминируют разные, но экологически близкие виды.

После переезда в Петрозаводск основные научные интересы В. Д. Лопатина сосредоточились на изучении лугов. Он организовал широкие биогеоценологические исследования на Вороновском луговом стационаре в Кондопожском районе Карелии. На 9 участках велись наблюдения за растительностью, почвой, микроорганизмами и беспозвоночными. В результате многолетних исследований установлены корреляционные взаимосвязи между различными количественными показателями луговых экосистем, разногодичная динамика их растительного покрова.

Проводя наблюдения над формированием луговой растительности из посевов многолетних луговых трав, В. Д. Лопатин широко применял математические методы для обработки данных. Он предложил оригинальную формулу вычисления коэффициента сходства сообществ, которую использовал для оценки скорости прохождения сингенеза на лугах. Для изучения изменчивости естественных лугов Валентин Данилович разработал уникальный метод определения места ценоза в системе экологических координат. Сравнивая изменения местоположения луга в этой системе в разные годы или под воздействием удобрений, полива или других факторов, можно установить величины изменчивости, ее направление и харак-

тер. В частности, установлено, что эффективность удобрений падает с удалением от центра экологических координат.

Позднее, в 80-е годы, Валентин Данилович свой метод экологических координат модифицировал и впервые в геоботанике использовал для построения экологических рядов растительности болот. Учитывая огромный объем накопленных знаний о таком сложном природном объекте, как торфяное болото, он дал ему исчерпывающее научное определение. В нем отражены важнейшие характеристики болот: происхождение, торфонакопление, экологические условия, стадии развития, растительность, подчеркнуто, что на зрелых стадиях, наступающих при господстве сфагновых мхов, болото приобретает свойства саморегулирующейся экосистемы с четко выраженным деятельным горизонтом.

Валентин Данилович был очень многогранным ученым, не только теоретиком, но и практиком. Под его руководством проводились работы по изучению прибрежно-водной растительности Карелии как кормовой базы для разведения уток, по рациональному использованию культурных пастбищ. Он продолжил исследования выращивания дикого водяного риса, которые в силу сложившихся обстоятельств не были доведены до конца. При участии Валентина Даниловича составлена уникальная среднемасштабная Карта растительности болот Карелии (1:600 000), и поныне не потерявшая своей актуальности.

За долгую плодотворную научную жизнь В. Д. Лопатиным опубликовано свыше 140 научных работ. Много сил и времени Валентин Данилович отдавал редактированию монографий, сборников и научных статей. Под его редакцией вышли 24 книги.

Неутомимый труженик, В. Д. Лопатин уделял большое внимание воспитанию молодых ученых. Он прививал молодежи любовь к избранной специальности, будил творческую мысль и инициативу, помогал правильному формированию научного мировоззрения, учил принципиальности, настойчивости и научной этике. Удивительно тактично и доброжелательно Валентин Данилович умел вовремя поддержать начинающего ученого. Он щедро делился своими знаниями со всеми, кто приходил к нему за советом. У него можно было получить исчерпывающую консультацию по любому вопросу – от общих теоретических разработок геоботаники до детальных сведений по самым разнообразным специальностям. Под руководством Валентина Даниловича подготовили и защитили кандидатские диссертации Г. А. Елина,

Ф. В. Юдина, Т. А. Максимова, А. И. Максимов, В. В. Ершов, Н. П. Ларионова, В. К. Антипин. Большую научную работу В. Д. Лопатин успешно совмещал с общественной деятельностью. Он в течение 24 лет (1964–1988 гг.) возглавлял Карельское отделение Всесоюзного (ныне Русского) ботанического общества.

В. Д. Лопатин награжден орденом Отечественной войны I степени и 10 медалями, в том числе «За оборону Ленинграда», «За Победу над Германией», грамотами АН СССР, ему присвоено звание «Заслуженный деятель науки Карельской АССР», он был почетным членом Всесоюзного ботанического общества.

Жизнь В. Д. Лопатина – это ярчайший пример беззаветной преданности науке, он являл собой образ настоящего ученого и педагога, воспитавшего целое поколение карельских болотоведов и ботаников. Огромное научное наследие Валентина Даниловича Лопатина всегда будет востребовано благодарными потомками, избравшими в жизни путь служения науке.

*В. Ф. Юдина, В. К. Антипин*

#### **СПИСОК ОСНОВНЫХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ В. Д. ЛОПАТИНА**

**1947.** О причинах безлесия болот // Вестн. ЛГУ. № 9. Сер. биол., геогр. и геол. Вып. 2. С. 32–42.

Основные выводы из изучения Тесовского болотного массива // Там же. № 2. Вып. 1. С. 50–60.

**1949.** О гидрологическом значении верховых болот // Там же. С. 37–49.

Очерк растительности Гладкого болота // Учен. зап. ЛГУ. № 104. Сер. геогр. наук. Вып. 5. С. 152–174.

**1953.** Опыт физико-географического анализа одного из ландшафтов Карелии // Вестн. ЛГУ. № 10. Сер. биол., геогр. и геол. Вып. 2. С. 149–161.

**1954.** Гладкое болото (торфяная залежь и фации) // Учен. зап. ЛГУ. № 166. Сер. геогр. наук. Вып. 9. С. 95–181.

**1956.** Зависимость значения pH и хода оттаивания от растительности и микрорельефа на верховом болоте // Вестн. ЛГУ. № 12. Сер. биол., геогр. и геол. Вып. 2. С. 85–98.

Растительные ассоциации и фации болота «Чистый мох» // Учен. зап. ЛГУ. № 213. Сер. геогр. наук. Вып. 115. С. 240–256.

**1958.** О микрокомплексности растительного покрова // Сообщ. Сахалинск. компл. НИИ СО АН СССР. № 6. С. 131–142.

**1959.** Типы режимов увлажнения Карелии // Изв. Карельского и Кольского филиалов АН СССР. № 4. С. 97–106.

К вопросу об установлении объема ассоциации и выделения фитоценоза в природе // Вестн. ЛГУ. № 18. Сер. биол., геогр. и геол. Вып. 3. С. 110–123.

**1963.** К вопросу об установлении объема ассоциации и фитоценоза // Учен. зап. Тартуск. гос. унив. № 145. С. 47–50.

К вопросу о взаимосвязях между ценотипами растений-эдикаторов и их ареалами // Доклады АН СССР. Т. 148, № 4. С. 956–957.

**1966.** Анализ изменчивости лугов и прогноз эффективности удобрений на основе принципа эколого-фитоценологических рядов В. Н. Сукачева // Бот. журн. Т. 51, № 3. С. 309–321. (Совместно с В. А. Зайковой).

К сравнению разных методов определения изменчивости растительности лугов // Бот. журн. Т. 52, № 7. С. 971–974.

**1970.** О взаимосвязи изменений структуры и экологического состава луговых фитоценозов при антропогенных воздействиях // Бот. журн. Т. 55, № 7. С. 972–981. (Совместно с В. А. Зайковой).

**1971.** Закономерности развития болот и лугов и их связь с режимом влажности почвы: Доклад на соискание учен. степени докт. биол. наук по совокупности опубл. работ. Л. 51 с.

Краткий очерк луговой растительности Северного Приладожья // Очерки по растительному покрову Карельской АССР. Петрозаводск: Карелия. С. 20–59.

**1972.** Метод определения координат в системе эколого-фитоценологических рядов и использование его при изучении лугов // Применение количественных методов при изучении структуры фитоценозов. М.: Наука. С. 47–53. (Совместно с В. А. Зайковой).

Принципы установления границ переходных болот по растительному покрову и задачи дальнейших исследований по диагностике типов болот по растительности // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л.: Наука. С. 22–28.

**1973.** Изменение ярусного расчленения травостоя лугов при удобрении // Бот. журн. Т. 58, № 10. С. 1455–1461.

Определение относительной конкурентоспособности растений и ее изменение под воздействием удобрений // Бот. журн. Т. 58, № 6. С. 841–847.

О принципах классификации торфа болот Северо-Запада на экологической основе // Вопросы комплексного изучения болот. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 51–62.

**1976.** Коррелятивные связи почвенных нематод в луговых биогеоценозах // Экология. № 3. С. 62–67. (Совместно с Г. И. Соловьевой, В. А. Зайковой).

**1977.** Взаимосвязи количественных показателей свойств почвы и ее микрофлоры в луговых биогеоценозах // Закономерности развития и взаимосвязей луговых биогеоценозов. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 69–112. (Совместно с В. В. Ершовым).

**1980.** Некоторые вопросы методики биогеоценологического изучения лугов // Бот. журн. Т. 65, № 1. С. 91–94.

О некоторых общих вопросах болотоведения // Болота Европейского Севера СССР. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 5–17.

**1982.** Об экологических условиях жизни растений на болотах // Комплексные исследования растительности болот Карелии. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 4–13.

**1983.** Экологические ряды растительности болот // Структура растительности и ресурсы болот Карелии. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 5–38.

Общие закономерности развития и распространения микрокомплексного растительного покрова // Вопросы экологии растений, болотных местообитаний и торфяных залежей. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 5–30.

**1985.** Метод экоценологических координат при изучении лесов // Структура и динамика лесных ландшафтов Карелии. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР. С. 159–180. (Совместно с А. Д. Волковым, Т. Г. Вороновой).

**1986.** О новой трактовке определения болота // Экология. № 1. С. 70–72.

**1988.** Закономерности формирования луговых ценозов в процессе сингенеза // Бот. журн. Т. 73, № 3. С. 391–400.

О методике полевого изучения биогеоценоза и анализа полученных данных // Экология. № 1. С. 23–28.

**1989.** О генетическом принципе классификации растительности // Бот. журн. Т. 74, № 8. С. 1176–1179.

**1993.** Типы режимов увлажнения почвы и их общее экологическое значение // Экология. № 2. С. 82–85.

## **ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

(требования к работам, представляемым к публикации  
в «Трудах Карельского научного центра Российской академии наук»)

«Труды Карельского научного центра Российской академии наук» (далее – Труды КарНЦ РАН) публикуют результаты завершённых оригинальных исследований в различных областях современной науки: теоретические и обзорные статьи, сообщения, материалы о научных мероприятиях (симпозиумах, конференциях и др.), персоналии (юбилеи и даты, потери науки), статьи по истории науки. Представляемые работы должны содержать новые, ранее не публиковавшиеся данные.

Статьи проходят обязательное рецензирование. Решение о публикации принимается редакционной коллегией серии или тематического выпуска Трудов КарНЦ РАН после рецензирования, с учётом научной значимости и актуальности представленных материалов. Редколлегия серий и отдельных выпусков Трудов КарНЦ РАН оставляет за собой право возвращать без регистрации рукописи, не отвечающие настоящим правилам.

При получении редакцией рукопись регистрируется (в случае выполнения авторами основных правил ее оформления) и направляется на отзыв рецензентам. Отзыв состоит из ответов на типовые вопросы анкеты и может содержать дополнительные расширенные комментарии. Кроме того, рецензент может вносить замечания и правки в текст рукописи. Авторам высылаются электронная версия анкеты и комментарии рецензентов. Доработанный экземпляр автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром и ответом на все вопросы рецензента не позднее чем через месяц после получения рецензии. Перед опубликованием авторам высылаются распечатанная версия статьи, которая вычитывается, подписывается авторами и возвращается в редакцию.

Журнал имеет полноценную электронную версию на базе Open Journal System (OJS), позволяющую перевести предоставление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронный формат и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Редакционный совет журнала «Труды Карельского научного центра РАН» (Труды КарНЦ РАН) определил для себя в качестве одного из приоритетов полную открытость издания. Это означает, что пользователям на условиях свободного доступа разрешается: читать, скачивать, копировать, распространять, печатать, искать или находить полные тексты статей журнала по ссылке без предварительного разрешения от издателя и автора. Учредители журнала берут на себя все расходы по редакционно-издательской подготовке статей и их опубликованию.

Содержание номеров Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные варианты статей, а также другая полезная информация, включая настоящие Правила, доступны на сайтах – <http://transactions.krc.karelia.ru>; <http://journals.krc.karelia.ru>

Почтовый адрес редакции: 185000, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, КарНЦ РАН, редакция Трудов КарНЦ РАН. Телефон: (8142) 762018.

### **ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ**

Статьи публикуются на русском или английском языке. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы авторами.

Объём рукописи (включая таблицы, список литературы, подписи к рисункам, рисунки) не должен превышать: для обзорных статей – 30 страниц, для оригинальных – 25, для сообщений – 15, для хроники и рецензий – 5–6. Объём рисунков не должен превышать 1/4 объёма статьи. Рукописи большего объёма (в исключительных случаях) принимаются при достаточном обосновании по согласованию с ответственным редактором.

При оформлении рукописи применяется полуторный межстрочный интервал, шрифт Times New Roman, кегль 12, выравнивание по обоим краям. Размер полей страницы – 2,5 см со всех сторон. Все страницы, включая список литературы и подписи к рисункам, должны иметь сплошную нумерацию в нижнем правом углу. Страницы с рисунками не нумеруются.

Рукописи подаются в электронном виде в формате MS Word на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо на e-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru) или представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

## ОБЩИЙ ПОРЯДОК РАСПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТЕЙ СТАТЬИ

Элементы статьи должны располагаться в следующем порядке: *УДК* курсивом на первой странице, в левом верхнем углу; заглавие статьи на русском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; инициалы, фамилии всех авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название организации – места работы каждого автора в именительном падеже на русском языке курсивом (если авторов несколько и работают они в разных учреждениях, следует отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; если все авторы статьи работают в одном учреждении, можно не указывать место работы каждого автора отдельно); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; инициалы, фамилии всех авторов на английском языке полужирным шрифтом; название статьи на английском языке заглавными буквами полужирным шрифтом; аннотация на английском языке; ключевые слова на английском языке; текст статьи (статья экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности и указание источников финансирования выполненных исследований; списки литературы: с библиографическими описаниями на языке и алфавите оригинала (**Литература**) и транслитерированный в латиницу с переводом русскоязычных источников на английский язык (**References**); двуязычные таблицы (на русском и английском языках); рисунки; подписи к рисункам на русском и английском языках.

Сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; полный почтовый адрес каждой организации (с указанием почтового индекса) на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов).

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать содержание статьи\* и состоять из 8–10 значимых слов.

АННОТАЦИЯ должна быть лишена вводных фраз, создавать возможно полное представление о содержании статьи и иметь объем не менее 200 слов. Рукопись с недостаточно раскрывающей содержание аннотацией может быть отклонена.

Отдельной строкой приводится перечень КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ (не менее 5). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце фразы ставится точка. Слова, фигурирующие в заголовке статьи, ключевыми являться не могут.

Раздел «Материалы и методы» должен содержать сведения об объекте исследования с обязательным указанием латинских названий и сводок, по которым они приводятся, авторов классификаций и пр. Транскрипция географических названий должна соответствовать атласу последнего года издания. Единицы физических величин приводятся по Международной системе СИ. Желательна статистическая обработка всех количественных данных. Необходимо возможно точнее обозначать местонахождения (в идеале – с точным указанием географических координат).

Изложение результатов должно заключаться не в пересказе содержания таблиц и графиков, а в выявлении следующих из них закономерностей. Автор должен сравнить полученную им информацию с имеющейся в литературе и показать, в чем заключается ее новизна. Следует ссылаться на табличный и иллюстративный материал так: на рисунки, фотографии и таблицы в тексте (рис. 1, рис. 2, табл. 1, табл. 2 и т. д.), фотографии, помещаемые на вкладышах (рис. I, рис. II). Обсуждение завершается формулировкой в разделе «Заключение» основного вывода, которая должна содержать конкретный ответ на вопрос, поставленный во «Введении». Ссылки на литературу в тексте даются фамилиями, например: Карху, 1990 (один автор); Раменская, Андреева, 1982 (два автора); Крутов и др., 2008 (три автора или более) либо начальным словом библиографического описания источника, приведенного в списке литературы, и заключаются в квадратные скобки. При перечислении нескольких источников работы располагаются в хронологическом порядке, например: [Иванов, Топоров, 1965; Успенский, 1982; Erwin et al., 1989; Атлас..., 1994; Longman, 2001].

ТАБЛИЦЫ нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица имеет свой заголовок. Заголовки таблиц, заголовки и содержание столбцов, строк, а также примечания приводятся на русском и английском языках. На полях бумажного экземпляра рукописи (слева) карандашом указываются места расположения таблиц при первом упоминании их в тексте. Диаграммы и графики не должны дублировать таблицы. Материал таблиц должен быть понятен без дополнительного обращения к тексту. Все сокращения, использованные в таблице, поясняются в Примечании, расположенном под ней. При повторении цифр в столбцах нужно их повторять, при повторении слов – в столбцах ставить кавычки. Таблицы могут быть книжной или альбомной ориентации (при соблюдении вышеуказанных параметров страницы).

РИСУНКИ при первичной подаче материала в редакцию вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в формате TIFF (\*.TIF) или JPG. Графические материалы должны быть снабжены распечатками с указанием желательного размера рисунка, пожеланий и требований к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, элек-

\* Названия видов приводятся на латинском языке КУРСИВОМ, в скобках указываются высшие таксоны (семейства), к которым относятся объекты исследования.

тронного трансмиссионного и сканирующего), должны сопровождаться масштабными линейками, причем в подрисуночных подписях надо указать длину линейки. Приводить данные о кратности увеличения необязательно, поскольку при публикации рисунков размеры изменятся. Крупномасштабные карты желательно приводить с координатной сеткой, обозначениями населенных пунктов и/или названиями физико-географических объектов и разной фактурой для воды и суши. В углу карты желательна врезка с мелкомасштабной картой, где был бы указан участок, увеличенный в крупном масштабе в виде основной карты.

**ПОДПИСИ К РИСУНКАМ** приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточно полную информацию, для того чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту (если эта информация уже не дана в другой иллюстрации). Аббревиации расшифровываются в подрисуночных подписях, детали на рисунках следует обозначать цифрами или буквами, значение которых также приводится в подписях.

**ЛАТИНСКИЕ НАЗВАНИЯ.** В расширенных латинских названиях таксонов не ставится запятая между фамилией авторов и годом, чтобы была понятна разница между полным названием таксона и ссылкой на публикацию в списке литературы. Названия таксонов рода и вида печатаются курсивом. Вписывать латинские названия в текст от руки недопустимо. Для флористических, фаунистических и таксономических работ при первом упоминании в тексте и таблицах приводится русское название вида (если такое название имеется) и полностью – латинское, с автором и желательно с годом, например: водяной ослик (*Asellus aquaticus* (L., 1758)). В дальнейшем можно употреблять только русское название или сокращенное латинское без фамилии автора и года опубликования, например, для брюхоного моллюска *Margarites groenlandicis* (Gmelin, 1790) – *M. groenlandicus* или для подвида *M. g. umbilicalis*.

**СОКРАЩЕНИЯ.** Разрешаются лишь общепринятые сокращения – названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т. п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования работы.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.** Пристатейные ссылки и/или списки пристатейной литературы следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления ([http://www.bookchamber.ru/GOST\\_P\\_7.0.5.-2008](http://www.bookchamber.ru/GOST_P_7.0.5.-2008)). Список работ представляется в алфавитном порядке. Все ссылки даются на языке оригинала (названия на японском, китайском и других языках, использующих нелатинский шрифт, пишутся в русской транскрипции). Сначала приводится список работ на русском языке и на языках с близким алфавитом (украинский, болгарский и др.), а затем – работы на языках с латинским алфавитом. В списке литературы между инициалами ставится пробел.

**ТРАНСЛИТЕРИРОВАННЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES).** Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические описания русскоязычных работ даются в латинской транслитерации, рядом в квадратных скобках помещается их перевод на английский язык. Выходные данные приводятся на английском языке (допускается транслитерация названия издательства). При наличии переводной версии источника можно указать ее. Описания прочих работ приводятся на языке оригинала. Для составления списка рекомендуется использование бесплатных онлайн-сервисов транслитерации, вариант BSI.

Внимание! С 2015 года каждой статье, публикуемой в «Трудах Карельского научного центра РАН», редакцией присваивается уникальный идентификационный номер цифрового объекта (DOI) и статья включается в базу данных Crossref. **Обязательным условием является указание в списках литературы DOI для тех работ, у которых он есть.**

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 631.53.027.32:635.63

### ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕДПОСЕВНОГО ЗАКАЛИВАНИЯ СЕМЯН НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

Е. Г. Шерудило<sup>1</sup>, М. И. Сысоева<sup>1</sup>, Г. Н. Алексейчук<sup>2</sup>, Е. Ф. Марковская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Карельского научного центра РАН

<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники НАН Республики Беларусь им. В. Ф. Купревича

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L.; кратковременное снижение температуры; устойчивость.

**E. G. Sherudilo, M. I. Sysoeva, G. N. Alekseichuk, E. F. Markovskaya. EFFECTS OF DIFFERENT REGIMES OF SEED HARDENING ON COLD RESISTANCE IN CUCUMBER PLANTS**

Аннотация на английском языке

Keywords: *Cucumis sativus* L.; temperature drop; resistance.

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ**

Таблица 2. Ультраструктура клеток мезофилла листа в последствии 10-минутного охлаждения (2 °С) проростков или корней пшеницы

Table 2. Ultrastructure of leaf mesophyll cells after the exposure of wheat seedlings or roots to 10 min of chilling at 2 °C

Показатель Index	Контроль Control	Охлаждение проростков Seedling chilling	Охлаждение корней Root chilling
Площадь среза хлоропласта, мкм <sup>2</sup> Chloroplast cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	10,0 ± 0,7	13,5 ± 1,1	12,7 ± 0,5
Площадь среза митохондрии, мкм <sup>2</sup> Mitochondria cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	0,4 ± 0,03	0,5 ± 0,03	0,6 ± 0,04
Площадь среза пероксисомы, мкм <sup>2</sup> Peroxisome cross-sectional area, μm <sup>2</sup>	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Число хлоропластов на срезе клетки, шт. Number of chloroplasts in cell cross-section	9 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число митохондрий на срезе клетки, шт. Number of mitochondria in cell cross-section	8 ± 1	8 ± 1	10 ± 1
Число пероксисом на срезе клетки, шт. Number of peroxisomes in cell cross-section	2 ± 0,3	2 ± 0,3	3 ± 0,4

Примечание. Здесь и в табл. 3: все параметры ультраструктуры измеряли через 24 ч после охлаждения.

Note. Here and in Tab. 3 all ultrastructure parameters were measured 24 h after chilling.

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ПОДПИСИ К РИСУНКУ**

Рис. 1. Северный точильщик (*Hadrobregmus confuses* Kraaz.)

Fig. 1. Woodboring beetle *Hadrobregmus confuses* Kraaz.

Рис. 5. Результаты изучения кристаллитов и демпферных зон в образце кварца из Дульдурги:

(а) – электронная микрофотография кварца; (б) – картина микродифракции, полученная для участка 1 в области кристаллитов; (в) – картина микродифракции, отвечающая участку 2 в области демпферных зон

Fig. 5. Results of the study of crystallites and damping zones in a quartz sample from Duldurga:

(a) – electron microphotograph of the quartz sample; (б) – microdiffraction image of site 1 in the crystallite area; (в) – microdiffraction image corresponding to site 2 in the damping area

**ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ**

Ссылки на книги

Вольф Г. Н. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм в органической химии / Ред. Г. Снатцке. М.: Мир, 1970. С. 348–350.

Патрушев Л. И. Экспрессия генов. М.: Наука, 2000. 830 с.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques / Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

References:

Vol'f G. N. Dispersiya opticheskogo vrashheniya i krugovoj dikhroizm v organicheskoy khimii [Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry]. Ed. G. Snattske. Moscow: Mir, 1970. P. 348–350.

Patrushev L. I. Ekspressiya genov [Gene expression]. Moscow: Nauka, 2000. 830 p.

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. Eds P. V. Sundaram, F. L. Eckstein. N. Y., San Francisco: Acad. Press, 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журн. общ. биол. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri* // J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione // Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi:10.1199/tab.0142

References:

Viktorov G. A. Mezhhvidovaya konkurentsiya i sosushhestvovanie ehkologicheskikh gomologov u paraziticheskikh pereponchatokrylykh [Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera]. Zhurn. obshh. biol. [Biol. Bull. Reviews]. 1970. Vol. 31, no. 2. P. 247–255.

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. J. Fish. Biol. 1978. Vol. 12, no. 4. P. 507–516.

Noctor G., Queval G., Mhamdi A., Chaouch A., Foyer C. H. Glutathione. Arabidopsis Book. American Society of plant Biologists, Rockville, MD. 2011. doi: 10.1199/tab.0142

Ссылки на материалы конференций

Марьинских Д. М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11–12 сент. 2000 г.). Новосибирск, 2000. С. 125–128.

References:

Mar'inskikh D. M. Razrabotka landshaftnogo plana kak neobkhodimoe uslovie ustoichivogo razvitiya goroda (na primere Tyumeni) [Landscape planning as a necessary condition for sustainable development of a city (example of Tyumen)]. *Ekologiya landshafta i planirovanie zemlepol'zovaniya*: Tezisy dokl. Vseros. konf. (Irkutsk, 11–12 sent. 2000 g.) [Landscape ecology and land-use planning: abstracts of all-Russian conference (Irkutsk, Sept. 11–12, 2000)]. Novosibirsk, 2000. P. 125–128.

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

Шефтель Б. И. Экологические аспекты пространственно-временных межвидовых взаимоотношений землероек Средней Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 23 с.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

References:

Sheftel' B. I. Ekologicheskie aspekty prostranstvenno-vremennykh mezhvidovykh vzaimootnoshenii zemlerоек Srednei Sibiri [Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow, 1985. 23 p.

Lozovik P. A. Gidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoichivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk, 2006. 481 p.

Ссылки на патенты

Патент РФ № 2000130511/28.04.12.2000.

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

References:

Patent RF № 2000130511/28. 04.12.2000 [Russian patent No. 2000130511/28. December 4, 2000].

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optiko-elektronnyi apparat [Optoelectronic apparatus]. Patent Rossii № 2122745 [Russian patent No. 2122745]. 1998. Bulletin No. 33.

Ссылки на архивные материалы

Гребенщиков Я. П. К небольшому курсу по библиографии: материалы и заметки, 26 февр. – 10 марта 1924 г. // ОР РНБ. Ф. 41. Ед. хр. 45. Л. 1–10.

References:

Grebenshchikov Ya. P. K nebol'shому kursu po bibliografii: materialy i zametki, 26 fevr. – 10 marta 1924 g. [Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924]. OR RNB. F. 41. St. un. 45. L. 1–10.

Ссылки на интернет-ресурсы

Паринов С. И., Ляпунов В. М., Пузырев Р. Л. Система Соционет как платформа для разработки научных информационных ресурсов и онлайн-сервисов // Электрон. б-ки. 2003. Т. 6, вып. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (дата обращения: 25.12.2015).

Демография. Официальная статистика / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.12.2015).

References:

*Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Sistema Sotsionet kak platforma dlya razrabotki nauchnykh informatsionnykh resursov i onlainovykh servisov [Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services]. Elektron. b-ki [Digital library]. 2003. Vol. 6, iss. 1. URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).*

*Demografija. Oficial'naja statistika [Demography. Official statistics]. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal state statistics service]. URL: <http://www.gks.ru/> (accessed: 25.12.2015).*

Ссылки на электронные ресурсы на CD-ROM

Государственная Дума, 1999–2003 [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия / Аппарат Гос. Думы Федер. Собрания Рос. Федерации. М., 2004. 1 CD-ROM.

References:

*Gosudarstvennaya Duma, 1999–2003 [State Duma, 1999–2003]. Electronic encyclopedia. The office of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation. Moscow, 2004. 1 CD-ROM.*



**Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences**

**No. 5, 2021**

**“ECOLOGICAL STUDIES”**

**TABLE OF CONTENTS**

G. V. Akhmetova. DISTRIBUTION PATTERNS OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN THE “SOIL – PLANT” SYSTEM IN THE MIDDLE TAIGA OF EASTERN FENNOSCANDIA . . . . .	5
K. I. Abramova, R. P. Tokinova, N. R. Vodounon, R. R. Shagidullin, N. V. Shurmina. ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN PHYTOPLANKTON AND OXYGEN REGIME IN RIVER MOUTH AREA . . . . .	20
A. V. Kozlova, N. V. Zueva. ECOLOGICAL STATUS OF A SMALL RIVER: EVALUATION USING COMPOSITE INDICES . . . . .	32
O. P. Sterligova, Ya. A. Kuchko, E. S. Savosin, N. V. Ilmast. ECOSYSTEM OF THE POORLY STUDIED LAKE TIKSHOZERO, WESTERN KARELIA . . . . .	45
N. V. Dumnich, E. V. Lobunicheva, A. I. Litvin, M. Ya. Borisov. ZOOPLANKTON STRUCTURE AND DYNAMICS IN LAKE VOZHE (VOLOGDA REGION) . . . . .	57
A. P. Novoselov, N. Yu. Matveev. BACKGROUND STATE OF THE FISH FAUNA IN THE ZIMNYAYA ZOLOTITSA AND SOYANA RIVERS (ARKHANGELSK REGION) UNDER INDIRECT IMPACT FROM DIAMOND MINING . . . . .	71
A. V. Loseva, V. Yu. Shakhnazarova, O. A. Chirkova. DISTRIBUTION OF THE LADOGA RINGED SEAL ( <i>PUSA HISPIDA LADOGENSIS</i> NORDQ.) IN PALOSARENSELKYA STRAIT, SORTAVALA DISTRICT OF THE REPUBLIC OF KARELIA. . . . .	85
P. V. Golovin, M. V. Ivanov, T. S. Ivanova, E. V. Rybkina, D. L. Lajus. CHARACTERISTICS OF THREE-SPINED STICKLEBACK ( <i>GASTEROSTEUS ACULEATUS</i> L.) INFECTION WITH METACERCARIAE OF <i>CRYPTOCOTYLE</i> SPP. TREMATODES DURING THE SPAWNING SEASON IN THE WHITE SEA. . . . .	93
HISTORY OF THE KARELIAN RESEARCH CENTRE RAS: PEOPLE AND EVENTS	
V. F. Yudina, V. K. Antipin. The professional journey of Valentin D. Lopatin (1908–1997) . . . . .	109
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS . . . . .	114

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра  
Российской академии наук**  
№ 5, 2021

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Печатается по решению Ученого совета  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 12 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций  
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева  
Компьютерная верстка Г. О. Предтеченский

Подписано в печать 21.05.2021. Дата выхода 31.05.2021. Формат 60x84<sup>1/8</sup>.  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 13,3. Усл. печ. л. 14,1.  
Тираж 100 экз. Заказ 658. Цена свободная

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук»  
185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11

Оригинал-макет: Редакция научного издания «Труды КарНЦ РАН»

Типография: Редакционно-издательский отдел КарНЦ РАН  
185003, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, 50