

Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр  
Российской академии наук»

# **ТРУДЫ**

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

№ 8, 2022

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Петрозаводск  
2022

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, академик 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. ХЕЛЬТТЯ, 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](mailto:trudy@krc.karelia.ru)

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

© ФИЦ «Карельский научный центр РАН», 2022

© Институт биологии КарНЦ РАН, 2022

© Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2022

© Институт леса КарНЦ РАН, 2022

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences

# **TRANSACTIONS**

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

No. 8, 2022

ECOLOGICAL STUDIES

Petrozavodsk  
2022

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, Academician, 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 Thematic issue 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*

*8 issues a year*

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, 2022  
© Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2022  
© Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2022  
© Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, 2022

УДК 599.742.2 : 591.5 (470.13)

## КОНФЛИКТ «ЧЕЛОВЕК – МЕДВЕДЬ» В РЕСПУБЛИКЕ КОМИ: ДИНАМИКА ПРОЯВЛЕНИЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

**А. Н. Королев**

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН  
(ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Россия, 167982)*

Проведен анализ встреч бурого медведя, *Ursus arctos* L., 1758, в населенных пунктах (н.п.) Республики Коми в 1999–2020 гг. Всего выявлено 292 случая встреч, из них 12 отмечены в 1999–2009 и 280 – в 2010–2020 гг. Начиная с 2008 г. встречи фиксируются ежегодно. Максимальное за год число встреч (98 случаев) зарегистрировано в 2019 г. Встречи происходят практически круглогодично (неизвестны лишь в марте); 55,5 % встреч приходится на август–октябрь, 30,2 % – на май–июнь, 2,2 % – на январь–апрель. Встречи отмечаются практически по всему региону (нехарактерны для г. Воркута, расположенного преимущественно в зоне тундры); 31,5 % встреч приходится на города Печора и Ухта, а также Сыктывдинский район. Хищник зарегистрирован в пределах или вблизи как минимум 120 н.п. (16,7 % от числа жилых н.п.) с населением от 15 до 178,8 тыс. человек. Чаще всего (в 56,7 % случаев) медведь отмечается в н.п. с числом жителей в интервале 101–1000 человек. При встречах фиксируются преимущественно (в 80,1 % случаев) одиночные животные различных половозрастных групп, включая крупных возрастных особей (с шириной следа передней лапы до 16 см). В случае групповых встреч преобладают (65,5 %) медведицы с медвежатами. Среди действий, осуществляемых хищником в н.п. (форм активности), превалируют действия, связанные с добычей пропитания. Предполагается, что рост числа встреч бурого медведя в н.п. может быть вызван изменением состояния кормовой базы хищника и модификацией его поведения. Не исключено, что в определенной мере рост числа сообщений о встречах может быть результатом широкой информатизации общества.

**Ключевые слова:** бурый медведь; север европейской части России; конфликт «человек – медведь»; населенные пункты; нападения на человека и домашних животных

Для цитирования: Королев А. Н. Конфликт «человек – медведь» в Республике Коми: динамика проявлений и региональные особенности // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 5–19. doi: 10.17076/eco1530

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИОКТР № 122040600025-2.

## A. N. Korolev. THE HUMAN-BEAR CONFLICT IN THE KOMI REPUBLIC: MANIFESTATION DYNAMICS AND REGIONAL FEATURES

*Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
(28 Kommunisticheskaya St., 167982 Syktyvkar, Russia)*

Sightings of brown bears, *Ursus arctos* L., 1758, in settlements (and their environs) of the Komi Republic in the period 1999–2020 were analyzed. There was a total of 292 sightings, of which 12 happened in 1999–2009 and 280 – in 2010–2020. Since 2008, sightings have been annual. The maximum number of sightings per year (98 events) was recorded in 2019. Bears can be encountered almost all year round (not known only in March); 55.5 % of the sightings happened in August–October, 30.2 % – in May–June, 2.2 % – in January–April. Sightings have been reported almost throughout the region (not typical for the city of Vorkuta, located mainly in the tundra zone); 31.5 % of the encounters occurred in the cities of Pechora and Ukhta and in the Syktyvdinsky District. The predator was seen within or near at least 120 settlements (16.7 % of the region's inhabited settlements) with populations of 15 to 178 800 people. Most frequently (56.7 % of cases), bears were encountered in settlements with populations of 101–1000 people. Usually (in 80.1 % cases), settlements were visited by single animals of various age and sex groups, including large elder individuals (with front paw track width up to 16 cm). In cases of group sightings, female bears with cubs prevailed (65.5 %) (up to four cubs). The prevalent type of activity for the predators in settlements is food acquisition. The observed increase in the number of sightings in settlements is apparently caused by a change in the state of food resources for the bear and by modification of its behavior. Another possible factor contributing to the increase in the number of encounter reports may be the general level of informatization.

**Keywords:** brown bear; northeast of European Russia; human-bear conflict; settlements; attacks on humans and domestic animals

**For citation:** Korolev A. N. The human-bear conflict in the Komi Republic: manifestation dynamics and regional features. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 5–19. doi: 10.17076/eco1530

**Funding.** The study was carried out within Research, Development and Technological project # 122040600025-2.

### Введение

В последние десятилетия в мире наблюдается тенденция к росту числа конфликтных ситуаций между человеком и хищниками (Carnivora, Mammalia) [Conover, 2008; Penteriani et al., 2016; Baker, Timm, 2017; Bombieri et al., 2019]. Одним из самых «конфликтных» видов, в силу многочисленности, широкого распространения и развитой рассудочной деятельности, является бурый медведь, *Ursus arctos* L., 1758 (далее медведь). Антагонистические отношения между человеком и медведем проявляются в большинстве стран, расположенных в ареале этого вида, в том числе и в России [Bombieri et al., 2019; Kudrenko et al., 2020]. Согласно официальным данным, с 2000 по 2019 г. численность медведя в России выросла со 125,9 до 288,9 тыс. особей [Губарь, 2004; О состоянии..., 2020] (заметим, что реальность столь существенного роста численности хищника часто ставится под сомнение [Пучковский, 1921]). Увеличение поголовья вида не могло не привести к обострению конфликта «человек – медведь»

(нарастание напряженности этого конфликта в большинстве регионов России, населенных хищником, отмечается в последние три-четыре десятилетия [Пучковский, 1921]). Особенно остро оно ощущается в Сибири и на Дальнем Востоке: здесь ежегодно гибнут люди, медведи, домашние животные, повреждается и уничтожается имущество [Кречмар, 2009; Суворов, Катюшин, 2015; Примак и др., 2020; Kudrenko et al., 2020; Пучковский, 2021]. В европейской части страны эта проблема выражена не столь ярко. Но и здесь в ряде регионов конфликт между человеком и медведем проявляется достаточно отчетливо. «Проблемные» животные зарегистрированы в Мурманской области, республиках Карелия и Коми [Пучковский, 2021].

Международный семинар «Migration of predators near populated areas in the Barents Region», прошедший в марте 2020 г. в Архангельске [Migration...], показал, что антагонизм человека и медведя – довольно обычное явление на севере европейской части России. Выход животных на дороги и в населенные пункты (далее н.п.), потравы посадок на огородах, нападения

на домашних животных и людей, разорение могил вплоть до выкапывания трупов [Захарова; Белянчиков; Migration...] – вот далеко не полный список проявлений нежелательной активности хищника в обозначенном регионе.

Представленные на семинаре доклады о проявлениях конфликта «человек – медведь» территориально охватывали лишь западную часть Европейского Севера страны – Архангельскую и Мурманскую области и Республику Карелия, оставив без внимания взаимоотношения человека и медведя на востоке региона – в Республике Коми (далее РК). В последние годы здесь наблюдается рост числа встреч хищника в н.п. и их окрестностях, что вызывает обоснованные опасения местных жителей. На этом фоне Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды региона (далее Минприроды РК) неоднократно осуществляло мероприятия по регуляции численности медведя (и волка, *Canis lupus L.*, 1758), но их эффективность была низка. Число обращений граждан в компетентные органы по поводу захода хищников (медведь, волк) в н.п. продолжало расти: в 2016 г. таких обращений было 13, в 2017 г. – 31, в 2018 г. – 41 [Точка...], в 2019 г. – 96 [Выплаты...], в 2020 г. – 75 [В каких...]. В 2016 г. в республике в условиях крайней необходимости отстреляли трех медведей, в 2017 г. – также трех, в 2018 г. – двух, в 2019 г. – 13, в 2020 г. – 20 (данные Минприроды РК). Рекордным по числу встреч медведя в н.п. стал 2019 г. (рис. 1), что

вкпе с высокой численностью волка [Государственный..., 2020], а также гибелью в августе 2019 г. в пст. Ёдва Удорского района 14-летней девочки, предположительно, в результате нападения волка [В Коми...] стало основанием для принятия правительством региона постановления, введившего денежное вознаграждение в размере 20 тыс. рублей за добычу одной особи медведя и волка независимо от пола и возраста [Постановление...].

Обострение конфликта «человек – медведь» в РК требует скорейшего принятия комплекса выверенных мер, направленных на создание условий для длительного бесконфликтного сосуществования хищника и общества. В связи с этим необходимы сведения, позволяющие получить представление о различных аспектах данной проблемы и оценить ее масштаб. Цель настоящей работы – количественно охарактеризовать некоторые аспекты проявлений конфликта «человек – медведь» в населенных пунктах Республики Коми.

## Материалы и методы

Централизованный учет и анализ случаев встреч хищников в н.п. в регионе не ведется. В связи с этим в основу работы положены сообщения о встречах медведя в н.п. и их окрестностях (под последними мы понимаем прилежащие к н.п. сельскохозяйственные угодья, промышленные зоны, кладбища, свалки, дачные

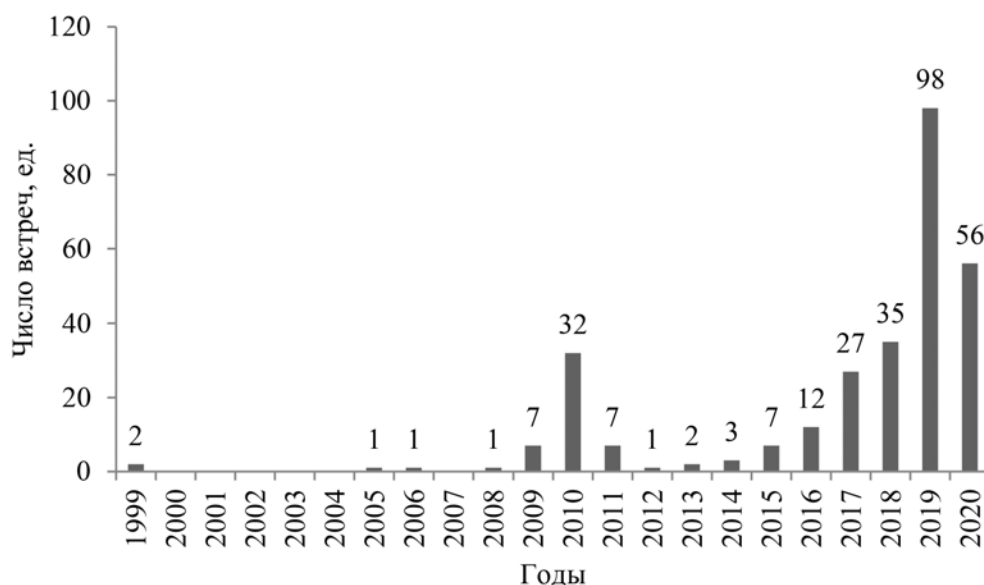


Рис. 1. Динамика числа встреч бурого медведя в населенных пунктах (и их окрестностях) Республики Коми

Fig. 1. Dynamics of the number of brown bear sightings in settlements (and their environs) of the Komi Republic

общества), опубликованные преимущественно в региональных электронных средствах массовой информации (информационные агентства «БНК» (<https://www.bnkom.ru/>), «Коминформ» (<https://komiinform.ru/>), «КомиОнлайн» (<https://komionline.ru/>), газеты «Аргументы и факты» (<https://komi.aif.ru/>), «Комсомольская правда» (<https://www.komi.kp.ru/>), «Красное знамя» (<https://komikz.ru/>), «Про город Сыктывкар» (<https://pg11.ru/>), «Про город Ухта» (<https://progoroduhta.ru/>), «Трибуна» (<http://www.tribuna.nad.ru/>) и ряд других) с 29.10.1999 по 22.12.2020 г. В последнее время данный метод сбора информации успешно применяется исследователями при изучении взаимоотношений человека и крупных хищников [Ambarlı, 2019; Kudrenko et al., 2020; Королев, 2021; Cimpos, Voiculescu, 2022]. Поиск необходимых сведений вели в поисковой системе Яндекс. В строку поиска вводили сочетание слов «медведь\_Ижемский (Усть-Цилемский, г. Воркута (как «Воркутинский») и так далее для всех районов) \_район», после чего отбирали сообщения по интересующей нас тематике на первых 10 страницах результатов поискового запроса. Кроме того, анализировали ссылки, приведенные в отобранных сообщениях. Общее число накопленных таким образом сообщений составило 676, из них 563 после первичного анализа поступили в дальнейшую обработку. В результате обнаружено описание 329 проявлений конфликта «человек – медведь», из них 37 были локализованы вне н.п. (в природе, на участках дорог вне н.п., на удаленных объектах инфраструктуры) и поэтому исключены из дальнейшего анализа. Из описаний (по возможности) извлекали следующие данные: дата и место встречи медведя в н.п., название н.п., в который зашел хищник (или появился на его окраине), пол и возраст животного (животных), форма его активности (нападение на человека или домашних животных, потравы посадок на огородах, потребление отбросов, прочее), результат активности (число раненых и погибших людей и домашних животных, повреждение или уничтожение имущества, прочее), сведения обобщающего характера. Мы понимаем, что собранные таким образом данные далеко не полны и содержат в себе элемент субъективизма, а порой и преувеличения, тем не менее они позволяют очертить контуры рассматриваемой проблемы и выявить некоторые региональные особенности проявления конфликта «человек – медведь» в РК.

Сведения о н.п. и населении РК приведены по состоянию на 2010 г. [Административно-территориальное..., 2016]. За величину н.п. принято число его жителей. Для обозначения н.п., в кото-

рых отмечены (не отмечены) встречи медведя, использована фраза «н.п. с заходами (без заходов) медведя». При расчете частоты расположения н.п. с заходами медведя из сумм площадей северных и центральных районов (деление по: [Маслов и др., 1961]) вычли площади особо охраняемых природных территорий федерального значения (ФГБУ «Национальный парк «Югыд ва», ФГБУ «Печоро-Ильчский государственный природный биосферный заповедник»), поскольку в их пределах н.п. отсутствуют. Материалы по численности и добыче медведя частично получены в Минприроды РК.

В качестве параметров описательной статистики использовали порядковые статистики (минимум (Min), максимум (Max), процентиля (5%, 95%), квартили (25%, 75%), медиану (Me) и ее доверительный интервал (CI)), для сопоставления данных – критерии Манна – Уитни (U-тест), Колмогорова – Смирнова ( $D_n$ ) и  $\chi^2$ , для выявления зависимостей – коэффициент корреляции Спирмена (r) [Кобзарь, 2006]. В работе принят 5%-й уровень статистической значимости. Для устранения негативного эффекта множественных сравнений применяли поправку Холма – Бонферрони [Aickin, Gensler, 1996]. Для статистической обработки числового материала и визуализации ее результатов использовали программы PAST 4.03 [Hammer et al., 2001] и Microsoft Office Excel 2007.

## Результаты и обсуждение

### *Пространственно-временные аспекты проявления конфликта «человек – медведь»*

Всего нами обнаружено описание 292 случаев встреч медведя в н.п., произошедших в период с 1999 по 2020 г. (табл. 1). В первой половине этого периода (1999–2009 гг.) отмечено 12 встреч, во второй (2010–2020 гг.) – 280 (рис. 1). Начиная с 2008 г. встречи регистрируются ежегодно. Наибольшее за год число встреч (98 случаев) зафиксировано в 2019 г.: тогда в 10 районах отмечены максимумы годового числа встреч хищника (33,3–77,8 % от суммарного числа встреч за период 1999–2020 гг.) (табл. 1). Вторым по значимости стал 2020 г., когда максимумы были отмечены в трех районах (50–100 %).

В сезонном плане встречи наблюдаются практически круглый год (сезонность рассмотрена на основе сообщений, в которых точно указан месяц встречи хищника в н.п.; таких сообщений оказалось 182) (рис. 2). Более половины (55,5 %) встреч приходится на август–октябрь, около трети (30,2 %) – на май–июнь,



Таблица 1. Показатели встреч бурого медведя в населенных пунктах (и их окрестностях) Республики Коми в 1999–2020 гг.

Table 1. Indicators of the brown bear sightings in settlements (and their environs) of the Komi Republic in 1999–2020

Районы Districts		Общее число встреч, ед. Total number of sightings, unit	Число лет со встречами, ед. Number of years with sightings, units	Максимальное годовое число встреч, ед. Maximum annual number of sightings, units	Год с максимальным числом встреч Year with maximum number of sightings	Число н.п. с заходами медведя, ед. Number of settlements with bear visits, units
Северные Northern	г. Воркута Vorkuta	0	0	–	–	–
	г. Инта Inta	3	1	3	2020	2
	г. Печора Pechora	35	5	14	2018	7
	г. Усинск Usinsk	20	5	9	2019	6
	Ижемский Izhemsky	7	2	5	2019	5
	Усть-Цилемский Ust-Tsilemsky	9	5	3	2009, 2019	4
Центральные Central	г. Вуктыл Vuktyl	22	8	12	2020	4
	г. Сосногорск Sosnogorsk	13	6	4	2018	5
	г. Ухта Ukhta	30	8	11	2019	5
	Княжпогостский Knyazhpogostsky	15	5	9	2019	7
	Троицко-Печорский Troitsko-Pechorsky	18	2	14	2019	9
	Удорский Udorsky	20	6	10	2019	13
Южные Southern	г. Сыктывкар Syktyvkar	22	8	9	2010	6
	Койгородский Koigorodsky	4	3	2	2016	4
	Корткеросский Kortkerossky	13	5	5	2019	8
	Прилузский Priluzsky	12	4	4	2017	6
	Сыктывдинский Syktyvdinsky	27	9	13	2010	15
	Сысольский Sysolsky	2	2	1	2017, 2020	2
	Усть-Вымский Ust-Vymsky	6	3	3	2019	4
	Усть-Куломский Ust-Kulomsky	14	5	9	2019	8
В целом по региону Total for the region		292	16	98	2019	120

с января по апрель встречи практически отсутствуют (2,2 %). Во многом аналогичная динамика проявления конфликта «человек – медведь» отмечена и в других частях ареала вида, в частности в Словении, Швеции и Финляндии [Budic, 2010], Румынии [Cimrosa, Voiculescu, 2022], Китае (провинция Цинхай) [Dai et al., 2020]. Наличие двух пиков встреч – весеннего (май–июнь) и осеннего (август–октябрь) – определяется сезонной динамикой обилия кормов, при этом число встреч в осенний период в целом в 1,84 раза больше, чем в весенний. Отмеченная

разница легко объяснима: весенний недостаток кормов в любом случае будет нивелирован нарастанием растительной биомассы (базового корма медведя в конце весеннего – начале летнего периодов), в то время как осенний недостаток провоцируется неурожаем лесных ягод, который (в природных условиях) уже практически ничем не может быть скомпенсирован.

В пространственном плане рассматриваемая проблема охватывает 19 из 20 районов РК (табл. 1); несвойственна г. Воркута, большая часть территории которого (здесь и далее при

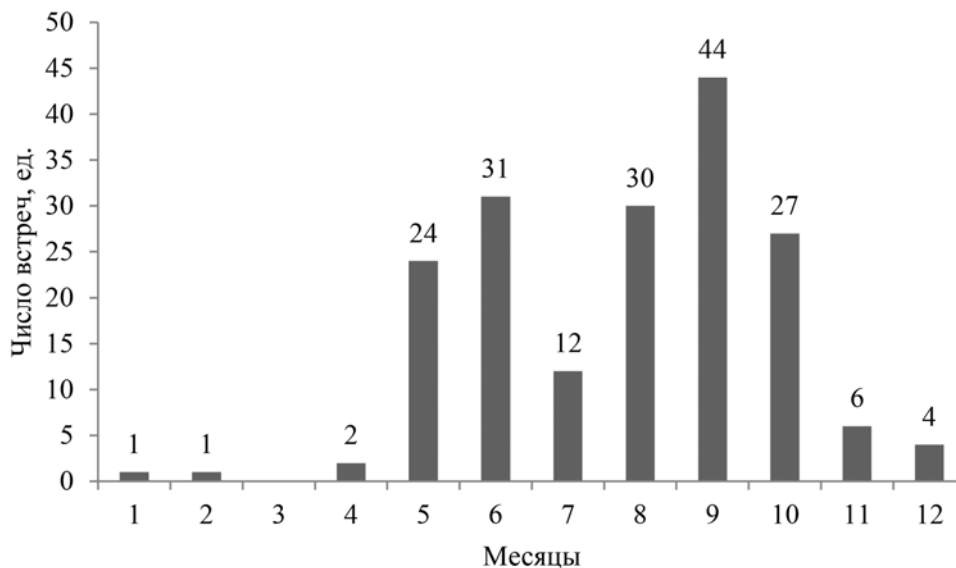


Рис. 2. Сезонная динамика числа встреч бурого медведя в населенных пунктах (и их окрестностях) Республики Коми (объединенные данные за 1999–2020 гг.)

Fig. 2. Seasonal dynamics of the number of brown bear sightings in settlements (and their environs) of the Komi Republic (combined data for 1999–2020)

упоминании городов имеется в виду не собственно территория города, а подчиненная ему административная территория) расположена в зоне тундры. В северных районах выявлено 74 встречи, в центральных – 118, в южных – 100. Около трети (31,5 %) от общего числа встреч отмечены в городах Печора, Ухта и Сыктывдинском районе. Наибольшее число лет со встречами отмечено в Сыктывдинском районе (девять лет), городах Вуктыл, Сыктывкар и Ухта (по восемь лет).

Хищник регистрировался в пределах или вблизи как минимум 120 н.п. (16,7 % от числа жилых н.п.); дачные общества в учет не брались. В северных районах расположены 24 н.п. с заходами медведя (один на 5859 км<sup>2</sup>), в центральных – 43 (один на 3188 км<sup>2</sup>), в южных – 53 (один на 1675 км<sup>2</sup>) (табл. 1). Из общего числа н.п. с заходами медведя около трети (30,8 %) расположены в трех районах: Сыктывдинском, Удорском и Троицко-Печорском. В 95 н.п. хищник отмечался в течение лишь одного года, в 15 – двух, в шести – трех, в двух – четырех (г. Сыктывкар<sup>1</sup>, пст. Седью г. Ухта) и по одному – пяти (г. Ухта) и семи (г. Вуктыл) лет. Среди

н.п. самые длительные серии последовательных ежегодных встреч отмечены в 2017–2020 гг. в городах Вуктыл, Ухта и пст. Седью (г. Ухта).

Анализ возможных факторов, определяющих пространственное распределение н.п. с заходами медведя (расчет велся для периода 2010–2020 гг., при этом число н.п. с заходами медведя составило 118), показал, что частота их расположения статистически значимо связана с медианой (2010–2020 гг.,  $n = 10$ ) плотности населения самого хищника ( $r = 0,72$ ,  $p = 0,002$ ) и плотностью н.п. ( $r = 0,72$ ,  $p = 0,002$ ). Эти связи во многом носят естественный характер и определяются согласованным снижением общей плотности населения хищника [Королев и др., 2018] и степени обжитости территории по мере роста широты местности. Под обжитостью мы понимаем степень насыщения среды н.п. сельского типа, материальной основой существования которых в условиях рассматриваемого региона являются (или были ранее) сельское хозяйство, заготовка древесины и традиционное природопользование (охота, рыболовство), т. е. отрасли, величина ресурсной базы которых, как и обилие медведя, определяется географической зональностью [Будыко, 1977]. В хорошо обжитой местности пусть и не с многолюдными, но многочисленными (читай: сельскими) н.п. у животных намного меньше шансов избежать встреч с человеком. Это хорошо иллюстрирует связь плотности н.п. с заходами медведя с плотностью сельского населения ( $r = 0,69$ ,  $p = 0,002$ ),

<sup>1</sup> Эжвинский район г. Сыктывкара (с населением в 56,2 тыс. чел.) формально входит в состав города (с населением с учетом Эжвинского района в 235 тыс. чел.), но наделен особым административным статусом – район в городе и считается отдельным н.п. [Административно-территориальное..., 2016]. В связи с этим численность населения г. Сыктывкара принята без учета численности населения Эжвинского района (178,8 тыс. чел.).

которая выше, чем связь с плотностью всего населения ( $r = 0,52$ ,  $p = 0,022$ ).

*Величина населенных пунктов, в которых зафиксированы встречи медведя*

Медведь заходит в н.п. с населением от 15 до 178,8 тыс. чел. Чаще всего (в 56,7 % случаев) хищник отмечается в н.п. с числом жителей в интервале 101–1000 чел. (рис. 3). Распределение н.п. с заходами медведя по величине значительно отличается ( $\chi^2 = 158,82$ ,  $df = 4$ ,  $p < 0,001$ ) от этого показателя для н.п. без заходов медведя (при расчете интервалы 10 001–100 000 и 100 001–1 000 000 жителей были объединены [Кобзарь, 2006]). Средний (Me) размер н.п. с заходами медведя (509 чел., CI = 370–734 чел.) значительно выше ( $D_n = 0,48$ ,  $p < 0,001$ ), чем н.п. без заходов медведя (82 чел., CI = 67–96 чел.,  $n = 600$ ). Подобная разница отмечалась нами ранее при анализе встреч волка в н.п. республики [Королев, 2021]. Однозначно трактовать данную особенность не представляется возможным. Предположительно, она может быть вызвана особенностями анализируемого материала: недостатком сведений из малых («умирающих») и удаленных н.п. Не исключено также, что «тяга» медведя к н.п. большего размера определяется наличием в них (и близ них) определенных условий, предоставляющих животным некоторые преимущества в плане питания в первую очередь за счет concentra-

ции значительных объемов пищевых ресурсов – домашних животных, приусадебных участков с огородами и ягодными кустарниками, пищевых отходов на свалках.

*Половой и возрастной состав медведей, зарегистрированных в населенных пунктах*

Определение пола и возраста медведей по внешним признакам – нетривиальная задача. Достаточно легко определяются лишь медведицы с медвежатами. Из 292 случаев встреч медведей в н.п. в 234 (80,1 %) отмечены одиночные животные, из них определены точно три самца, четыре самки и семь медвежат; в оставшихся 220 случаях указаний на пол и возраст нет. Но упоминание в описаниях 48 случаев таких определений, как годовалый, молодой, некрупный, взрослый, большой, старый и т. д., позволило выделить, пусть и достаточно условно, две возрастные категории животных – молодые (некрупные и среднего размера, 27 особей) и взрослые (крупные, 21 особь). Судить о размере взрослых животных позволяет упоминание ширины следов их передних лап: до 15–16 см (05.11.2019, д. Степановская Усть-Цилемского района) и 16 см (20.11.2020, с. Айкино Усть-Вымского района), т. е. это крупные возрастные животные [Пажетнов, 1990]. Из 58 случаев встреч групп хищников 38 (65,5 %) приходится на медведиц с медвежатами (в 14 случаях отмечен один медвежонок, в 11 – два, в четырех – три, в одном –

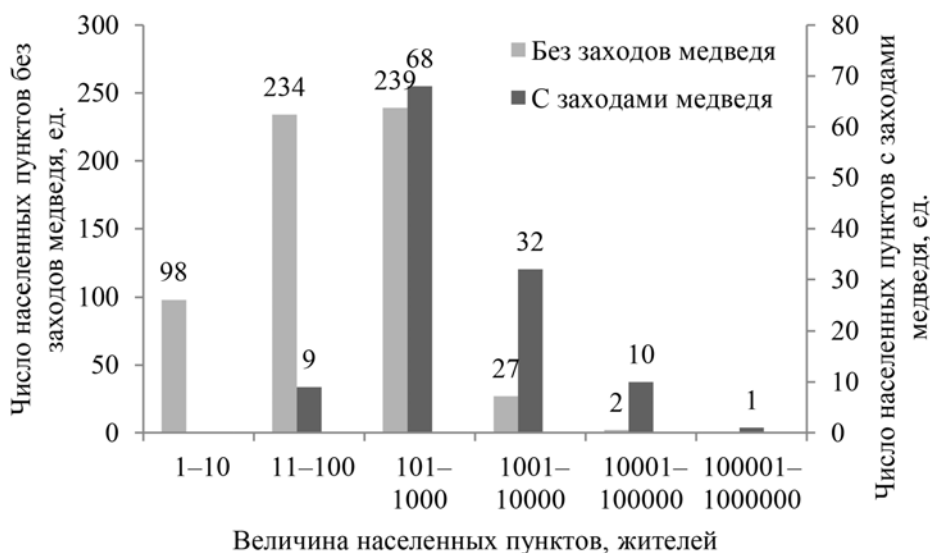


Рис. 3. Распределение населенных пунктов Республики Коми с заходами и без заходов медведя по величине (объединенные данные за 1999–2020 гг.)

Fig. 3. Distribution of settlements of the Komi Republic with and without bear visits by size (combined data for 1999–2020)

четыре, в восьми случаях число медвежат не указано). В 16 случаях сообщается о встречах групп медведей числом до четырех особей. В трех случаях говорится об обнаружении пар медвежат, в одном – о встрече медведя неопределенного пола и возраста и медведицы с медвежатами.

*Формы активности медведя  
в населенных пунктах*

Из 292 описаний случаев встреч медведя в н.п. лишь в 109 удалось выявить формы активности хищника (выделены на основании действий хищника, описанных в сообщениях). В некоторых случаях описаны сразу несколько форм, в силу чего классификации подверглись 125 описаний различных форм активности. Всего выделено 19 форм, из которых семь отмечены лишь по одному разу (объединены в «прочие») (табл. 2).

подавляющее число форм активности напрямую связаны с кормодобывающей деятельностью медведя: сюда относятся преследование и добыча собак и сельскохозяй-

ственных животных, питание корнеплодами и ягодами на приусадебных участках (в том числе дачных), разорение пасек, посещение свалок. Общее число таких случаев – 75, из них более трети (36 %) приходится на добычу медведем собак. Всего в 1999–2020 гг. нападению медведя подверглись (ранены, убиты) не менее 30 собак (в 11 районах), как минимум 17 особей крупного рогатого скота (в пяти районах), 23 овцы (в двух районах), а также два лося (в одном районе; животные содержались в государственном автономном учреждении РК «Финно-угорский этнокультурный парк» (с. Ыб Сыктывдинского района)).

Второй блок форм активности (25 случаев) связан с порчей и разрушением медведем различного рода строений и сооружений (сараяв, хлебов, домов, заборов) и проникновением внутрь сооружений. В большинстве случаев данные формы активности сопровождают кормодобывающую деятельность хищника.

Третий блок (13 случаев) связан с активностью медведя на кладбищах. Указанный блок по

Таблица 2. Формы активности бурого медведя в населенных пунктах (и их окрестностях) Республики Коми (объединенные данные за 1999–2020 гг.)

Table 2. Activity forms of the brown bear in settlements (and their environs) of the Komi Republic (combined data for 1999–2020)

№ No.	Форма активности медведя Type of bear activity	Число случаев, ед. Number of cases, units	Доля, % Share, %
1	Атаковал (ранил, убил) собаку Attacked (hurt, killed) a dog	27	21,6
2	Атаковал (ранил, убил) скот* Attacked (hurt, killed) livestock	19	15,2
3	Повредил строение (дом, сарай, забор и т. п.) Damage of a building (a house, a barn, a fence, etc.)	14	11,2
4	Повредил захоронение Damage of a burial place	13**	10,4
5	Питался на посадках (грядки, кустарники) Bear ate on plantings (beds, shrubs)	11	8,8
6	Рылся в бытовых отходах Bear rummaged through household waste	11	8,8
7	Проник в строение Bear entered a building	7	5,6
8	Атаковал (ранил, убил) человека Attacked (wounded, killed) a human	6	4,8
9	Пытался проникнуть в строение Bear tried to enter a building	4	3,2
10	Приближался (медленно) к человеку Bear approached (slowly) a human	2	1,6
11	Пытался догнать собаку Bear tried to catch a dog	2	1,6
12	Разорил пасеку Apiary devastation	2	1,6
13	Прочие Other	7	5,6

Примечание. \*К скоту причислены лоси, содержащиеся в государственном автономном учреждении РК «Финно-угорский этнокультурный парк»; \*\*12 случаев повреждения людских могил и один – могил домашних животных.

Note. \*Moose kept in the State Autonomous Institution of the Komi Republic 'Finno-Ugric ethno-cultural park' are classified as livestock; \*\*12 cases of damage to human burial places and one to pet burial places.

своей сути также связан с кормодобывающей деятельностью. В местной традиции поминания усопших является нормой оставление на могилах поминальной пищи, которая и привлекает медведей. Перемещаясь по кладбищу в поисках еды или находясь непосредственно на захоронениях, медведи зачастую повреждают ограды и надгробья. В отдельных случаях повреждение захоронений происходит из-за попыток хищника разрывать могилы с целью достать труп. За рассматриваемый период отмечено как минимум два случая, когда медведю удалось извлечь труп человека на поверхность. В октябре 2010 г. на Верхнечовском кладбище г. Сыктывкара хищник выкопал труп женщины (похороненной в сентябре того же года) и частично съел его. В ноябре 2020 г. на Успенском кладбище г. Ухта медведь также выкопал и достал труп женщины, похороненной месяц назад, после чего оттащил его в лес и снова закопал. В обоих описанных случаях хищников отстреляли. В июле 2020 г. на кладбище близ с. Колва (г. Усинск) хищник раскопал несколько могил теперь уже домашних животных и также вытащил их останки.

Четвертый блок (шесть случаев) связан с преследованием и нападением медведя на людей. Два нападения произошли непосредственно в черте н.п. (август 2009 г., с. Усть-Цильма Усть-Цилемского района; сентябрь 2010 г., г. Сыктывкар); в обоих случаях пострадавшие (мужчины) были ранены. Из четырех случаев нападений близ н.п. два оказались со смертельным исходом (октябрь 1999 г., пст. Мандач Сыктывдинского района, погибла женщина;

июнь 2013 г., пст. Ираель г. Сосногорска, погиб мужчина). В двух других случаях (август 2011 г., пст. Миша-Яг г. Печора; июль 2017 г., пст. Седью г. Ухта) пострадавшие (мужчины) оперативно доставлены в медучреждения (сведений о дальнейшей их судьбе нами не обнаружено).

#### *Возможные причины роста числа проявлений конфликта «человек – медведь»*

В качестве возможных причин рассматриваемой проблемы можно назвать дестабилизацию состояния кормовой базы хищника и изменение стереотипа его поведения по отношению к человеку (потеря страха, переход к нахлебничеству). Значимых изменений численности вида в регионе, которые могли бы привести к росту числа встреч медведя в н.п., не выявлено: несмотря на неоднородность данных, большинство средних показателей численности (кроме сверхмалых выборок) укладывается в интервал 3,5–4,5 тыс. особей (табл. 3). Осталась прежней и величина добычи хищника. Существенных изменений в структуре и качестве местообитаний вида в целом по региону также не произошло [Государственный..., 2001, 2021]. Интенсивность лесозаготовок – базового фактора трансформации среды обитания медведя в регионе – в настоящее время заметно ниже (7,2–9,9 млн м<sup>3</sup>/год в 2011–2020 гг. [Государственный..., 2021]), чем в последние десятилетия советского периода (21,8–27,5 млн м<sup>3</sup>/год в 1971–1990 гг. [Пручкин, Обухов, 2000]). Кроме того, в постсоветский период в регионе

Таблица 3. Численность (тыс. особей) и добыча (особей) бурого медведя в Республике Коми

Table 3. Population (thousand individuals) and hunted (individuals) of the brown bear in the Komi Republic

Показатель Indicator		2001–2010 гг.			2011–2020 гг.		
		n	Min–Max	Me	n	Min–Max	Me
Численность Population	Экспертная оценка* Expert assessment	8	3,5–4	3,75	–	–	–
	Анкетирование** Questionnaire survey	6	4,07–5,86	4,51	2	4,3–5,66	4,98
	Учет* Record	2	2,86–3,21	3,04	9	1,99–4,04	3,55
Добыча*** Hunted		11	23–54	35	11	20–135	39

*Примечание.* \*Данные ФГБУ «Федеральный центр развития охотничьего хозяйства» [Губарь, 2004, 2007, 2011] и Минприроды РК; \*\*данные ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. профессора Б.М. Житкова» [Учет..., 2007; Государственный..., 2010]; \*\*\*добыча представлена по охотничьим сезонам 1998/1999–2008/2009 и 2009/2010–2019/2020 гг. [Губарь, 2000, 2004, 2007, 2011; данные Минприроды РК].

*Note.* n – sample size, Min–Max – range, Me – median. \*Data of the Federal State Budgetary Institution 'Federal Center for the Development of Hunting Economy' [Gubar', 2004, 2007, 2011] and the Department for the Protection and Use of Wildlife and Hunting Resources of Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Komi Republic (Ministry of Natural Resources of the Komi Republic); \*\*data of the Federal State Budgetary Scientific Institution 'Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming named after Professor B.M. Zhitkov' [Uchet..., 2007; Gosudarstvennyi..., 2010]; \*\*\*number of hunted animals is presented for hunting seasons 1998/1999–2008/2009 and 2009/2010–2019/2020 [Gubar', 2000, 2004, 2007, 2011; data of the Ministry of Natural Resources of the Komi Republic].

сократилось население (с 1239,9 тыс. чел. в 1991 г. до 813,6 тыс. чел. в 2021 г. [Государственный..., 2021]) и снизилось общее число н.п. (с 853 в 1986 г. [Коми..., 1986] до 758 (из них 38 нежилые) в 2016 г. [Административно-территориальное..., 2016]). Многие отдаленные поселки опустели, в результате чего большие массивы тайги в бесснежный период года людьми практически не посещаются. То есть непосредственное влияние человека на среду обитания медведя и население хищника в целом по республике (без учета локальных факторов) существенно сократилось. Подобная картина характерна для многих регионов России в пределах ареала вида [Кречмар, 2009].

Состояние кормовой базы – один из основных регуляторов поведения медведя. В рассматриваемый период в регионе отмечено два всплеска проявлений конфликта «человек – медведь» – в 2010 и 2019 гг. (рис. 1). Оба всплеска мы связываем с крайне неблагоприятными погодными условиями, наблюдавшимися в вегетационные периоды указанных лет [Государственный..., 2011, 2020] и сказавшимися на урожайности дикоросов. В 2010 г. аномальные погодные условия отмечались преимущественно в южных районах республики (в них отмечены 78,1 % от общего числа встреч хищника в н.п., 21,9 % встреч отмечены в центральных районах). В 2019 г. погодные аномалии отмечались уже на большей части региона (на южные районы пришлось 28,6 % встреч, на центральные – 48 %, на северные – 23,5 %). К сожалению, в регионе отсутствует система слежения за урожайностью дикоросов, нет также статистических сведений об объемах закупок дикоросов у населения, что не позволяет оценить влияние их урожайности на интенсивность заходов хищника в н.п. Единственное место, где ведется локальный мониторинг урожайности, – ФГБУ «Печоро-Ильчский государственный

природный биосферный заповедник» (Троицко-Печорский район). Согласно собранным здесь данным, в 2010 г. из 16 видов дикорастущих ягодников равнинного участка заповедника четыре вида – обыкновенные рябина, *Sorbus aucuparia* L. 1753, и черемуха, *Padus avium* Mill. 1768, брусника, *Vaccinium vitis-idaea* L. (1753), черника, *Vaccinium myrtillus* L. 1753 (последние два вида являются базовыми нажировочными кормами хищника в районе заповедника [Полежаев, Нейфельд, 1998]) – практически не плодоносили: урожайность 0–0,5 балла в адаптированной шкале; для брусники и черники урожайность в шкале А. Н. Формозова составляла 1 балл (личное сообщение Т. К. Тertiцы). Еще четыре вида – обыкновенные костяника, *Rubus saxatilis* L. 1753, и толокнянка, *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. 1825, морозка, *Rubus chamaemorus* L. 1753, жимолость Палласа, *Lonicera pallasii* Ledeb. (1821), – плодоносили на 1 балл; два вида – лесная земляника, *Fragaria vesca* L. 1753, черная вороника, *Empetrum nigrum* L. 1753, – на 2 балла; остальные – пушистая, *Ribes spicatum* E. Robson 1796, и черная, *Ribes nigrum* L. 1753, смородина, обыкновенная малина, *Rubus idaeus* L. 1753, иглистый шиповник, *Rosa acicularis* Lindl. 1820, голубика, *Vaccinium uliginosum* L. 1753, болотная клюква, *Oxycoccus palustris* Pers. 1805, – на 3 балла; на 4 и 5 баллов не плодоносил ни один вид ягодников [Мегалинская, Тertiца, 2011]. В 2019 г. урожайность брусники по шкале А. Н. Формозова на равнинном участке заповедника оценена в 2 балла, черники – в 3 балла; на основной территории резервата брусника плодоносила на 1 балл, черника – на 2 балла (личное сообщение Т. К. Тertiцы). Сопоставление урожайности брусники и черники за периоды 1999–2009 и 2010–2020 гг. выявило тенденцию (U-тест, различия статистически незначимы) к снижению объемов урожаев (табл. 4):

Таблица 4. Урожайность (баллы) брусники и черники в равнинном районе Печоро-Ильчского заповедника (по материалам Т. К. Тertiцы)

Table 4. Productivity (points) of cowberry and bilberry in the plain area of the Pechora-Ilychsky Nature Reserve (based on the materials of T. K. Tertitsa)

Вид Species	Min–Max	5–95 %	25–75 %	Me	Σ
Брусника Cowberry	<u>2–5*</u> 1–4	<u>2,5–4,5</u> 1–4	<u>3–3,5</u> 2–4	3 3	36 30
Черника Bilberry	<u>2–4</u> 1–4	<u>2–4</u> 1,5–4	<u>2,5–4</u> 3–3,5	4 3	37 33

Примечание. \*Над чертой данные 1999–2009 гг. (n = 11), под чертой – 2010–2020 гг. (n = 11).

Note. 5–95 % – 5<sup>th</sup> and 95<sup>th</sup> percentiles, 25–75 % – 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartile, Σ – sum of points. For other notes see Table 3; \*data above the line for 1999–2009 (n = 11), data below the line for 2010–2020 (n = 11).

доля лет, когда урожаи составляли 2 балла и ниже, для брусники выросла с 9 до 45 %, для черники – с 0 до 18 %.

Эти данные позволяют предположить, что рост числа встреч медведя в н.п., по крайней мере на юго-востоке региона (Троицко-Печорский и прилегающие районы), может быть связан с некоторым ухудшением состояния кормовой базы хищника в период наживровки (вторая половина лета – первая половина осени). Отсутствие данных об урожайности дикоросов для всей территории региона не позволяет однозначно утверждать, что именно эта причина является ключевой в росте числа проявлений конфликта «человек – медведь». Можно лишь предположить, что на фоне разбалансировки климата последних десятилетий, вызвавшей рост числа экстремальных погодных явлений [Виноградова, 2014; Мохов, Семенов, 2016; Коршунов и др., 2019], изменения в урожайности основных наживочных кормов хищника, аналогичные наблюдаемым в Печоро-Илычском заповеднике, могут возникать и в других частях региона. Проявление данных изменений в масштабах всей республики, где в силу ее значительных размеров (площадь 416,8 тыс. км<sup>2</sup>, максимальная протяженность (с юго-запада на северо-восток) 1275 км (от южной тайги до южной тундры)) урожайность в разных районах может находиться в противофазе, возможно лишь в годы с особо экстремальными условиями, охватывающими большую часть региона, что и наблюдалось в 2010 и 2019 гг.

Изменение стереотипа поведения отдельных особей позволяет предполагать появление и рост числа животных-нахлебников, что происходит благодаря передаче поведенческих особенностей от медведиц медвежатам в процессе взросления последних. О том, что такая передача происходит, говорит значительная доля встреч медведиц с медвежатами в общем числе встреч медведей, проникающих в н.п. (минимум 13 % от общего числа встреч и минимум 65,5 % от числа встреч групп животных). Копируя и воспроизводя с возрастом поведение матери-нахлебницы, молодые медведи сами становятся нахлебниками, что может вести к закреплению данной поведенческой особенности в ряду поколений. На примере канадской провинции Альберта показано, что передача конфликтного поведения по отношению к человеку происходит именно путем обучения и не имеет под собой генетической природы [Morehouse et al., 2016]. Закрепление тяги к «благам цивилизации» у молодых медведей усиливается также вследствие не до конца сформированного поведения [Пажетнов, 1990]. Из-за небольшого

возраста у них мало опыта общения с человеком, поэтому они сравнительно легко идут на контакт и с меньшей опаской проникают в антропогенный ландшафт, в том числе в н.п.

Не исключено, что наблюдаемый рост числа сообщений о встречах хищника в н.п. в некоторой мере может быть вызван также всеобщей информатизацией общества. Увеличение доступности сведений о встречах стало возможным благодаря массовому распространению у населения электронных средств фото- и видеofиксации с возможностью практически моментальной публикации собранных данных в Интернете. Согласно данным Росстата [Число...], число абонентских устройств подвижной радиотелефонной связи (мобильных телефонов (впоследствии смартфонов), большинство из которых с середины 2000-х гг. снабжается встроенными фотокамерами [Ligr...]) в РК с 1999 по 2019 г. выросло более чем в 2,4 тыс. раз – с 0,8 до 1946,5 шт./1000 чел. Максимальный относительный прирост (более 200 % в год) наблюдался в 2000–2005 гг., максимальный абсолютный (более 200 шт./1000 чел. в год) – в 2004–2007 гг. С 2011 г. степень насыщения населения мобильными телефонами (смартфонами) превышает 1800 шт./1000 чел. Множество автомобилей сейчас оснащены видеорегистраторами, повсеместно распространены системы видеонаблюдения. Таким образом, объем собираемой информации, а главное, ее доступность существенно выросли. И если ранее описание случаев проявления конфликта «человек – медведь» в большинстве своем было достоянием лишь местных (районных) газет, то сейчас подобные случаи практически сразу становятся известны на региональном уровне, а экстраординарные – и на федеральном.

## Заключение

В XXI веке в Республике Коми отмечен существенный рост числа встреч медведя в населенных пунктах. Предполагается, что данный рост может быть связан с ухудшением состояния кормовой базы хищника и изменением стереотипа его поведения. Не исключено также, что в определенной мере он может быть артефактом процесса информатизации общества. Встречи хищника в н.п. наблюдаются практически на всей территории региона и во все сезоны года. Животные отмечены как минимум в 120 н.п. величиной от 15 до 178,8 тыс. человек; чаще всего хищник заходит в н.п. с числом жителей в интервале 101–1000 чел. В большинстве н.п. медведь фиксировался лишь в течение одного года, в ряде н.п. отмечены серии последовательных

заходов на протяжении до четырех лет подряд. При встречах регистрируются в основном одиночные животные различных половозрастных групп, включая крупных возрастных особей и медведиц с медвежатами. Среди действий, осуществляемых хищником в н.п., преобладают действия, связанные с добычей пропитания.

*Выражаем искреннюю благодарность Т. К. Тertiце, научному сотруднику ФГБУ «Печоро-Ильчский государственный природный биосферный заповедник», за предоставление материалов по урожайности брусники и черники.*

## Литература

Административно-территориальное и муниципальное устройство Республики Коми (на 1 августа 2016 года). Издание седьмое, официальное / ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2016. 278 с.

Белянчиков Е. Остановите бойню или спасите наши жизни? Скандал вокруг регуляции численности медведя в Карелии // Karelia.news [Электронный ресурс]. URL: <https://www.karelia.news/news/2376949/ostanovite-bojnu-ili-spasite-nasi-zizni-skandal-vokrug-regulacii-cislennost-medveda-v-karelii> (дата обращения: 28.07.2021).

Будыко М. И. Глобальная экология. М.: Мысль, 1977. 327 с.

В каких районах Коми в 2020 году дикие животные чаще всего выходили к людям // ИА БНК [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bnkomi.ru/data/news/123020/> (дата обращения: 28.07.2021).

В Коми следователи установили причину смерти 14-летней девочки из Едвы Удорского района // ИА Комиинформ [Электронный ресурс]. URL: <https://komiinform.ru/news/186113/> (дата обращения: 21.04.2020).

Виноградова В. В. Волны тепла на Европейской территории России в начале XXI века // Известия Российской академии наук. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 47–55. doi: 10.15356/0373-2444-2014-1-47-55

Выплаты вознаграждений за добычу волков и медведей в Коми продлены // ИА Комиинформ [Электронный ресурс]. URL: <https://komiinform.ru/news/192903/> (дата обращения: 21.04.2020).

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2000 году. Сыктывкар, 2001. 195 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2009 году». Сыктывкар, 2010. 120 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Республики Коми в 2010 году». Сыктывкар, 2011. 116 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2019 году». Сыктывкар, 2020. 162 с.

Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2020 году». Сыктывкар, 2021. 165 с.

Губарь Ю. П. Бурый медведь // Состояние охотничьих ресурсов в Российской Федерации в 2008–2010 гг. Информационно-аналитические материалы. М.: Физическая культура, 2011. С. 153–161.

Губарь Ю. П. Бурый медведь // Состояние ресурсов охотничьих животных в Российской Федерации. Информационно-аналитические материалы. М.: Изд-во ГУ Центрохотконтроль, 2000. С. 66–69.

Губарь Ю. П. Бурый медведь // Состояние ресурсов охотничьих животных в Российской Федерации в 2000–2003 гг. Информационно-аналитические материалы. М.: Изд-во ГУ Центрохотконтроль, 2004. С. 74–78.

Губарь Ю. П. Бурый медведь // Состояние ресурсов охотничьих животных в Российской Федерации в 2003–2007 гг. Информационно-аналитические материалы. М.: Изд-во ФГУ Центрохотконтроль, 2007. С. 73–81.

Захарова Л. Дикие звери все чаще появляются в городах и селах Архангельской области // Правда Севера [Электронный ресурс]. URL: <https://pravdasevera.ru/2017/11/22/60b0a0f5b43ef52e7c681a20.html> (дата обращения: 28.07.2021).

Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.

Коми АССР. Административно-территориальное деление на 1 января 1986 года. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1986. 124 с.

Королев А. Н. Некоторые аспекты проблемы проникновения волка (*Canis lupus* L.) в населенные пункты Республики Коми // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 144–150. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-237-243

Королев А. Н., Иванов В. А., Бабкина Н. Ю., Яковлева В. А. К вопросу о пространственном распределении бурого медведя (*Ursus arctos* L., 1758) в Республике Коми // Вестник охотоведения. 2018. Т. 15, № 4. С. 261–265.

Коршунов А. А., Шаймарданов В. М., Шаймарданов М. З., Шамин С. И. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, нанесших социально-экономических ущерб в 1998–2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 13–19.

Кречмар А. В. Еще раз о медведях и фотографах // Природа. 2009. № 10. С. 57–63.

Маслов В. И., Попов В. К., Романов А. Н. Охотничье хозяйство Коми АССР и пути его развития // Тр. Коми филиала АН СССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1961. № 11. С. 130–140.

Мегалинская И. З., Тertiца Т. К. Влияние погодных условий 2010 г. на плодоношение дикорастущих ягодников Печоро-Ильчского заповедника // Тр. Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. Вып. IX. Саранск-Пушта, 2011. С. 99–105.

Мохов И. И., Семенов В. А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.

О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. М., 2020. 1000 с.



Пажетнов В. С. Бурый медведь. М.: Агропромиздат, 1990. 215 с.

Полежаев Н. М., Нейфельд Н. Д. *Ursus (Ursus) arctos* L., 1758 – Бурый медведь // Млекопитающие. Китообразные, Хищные, Ластоногие, Парнопалые. СПб.: Наука, 1998. С. 66–80. (Фауна европейского Северо-Востока России. Млекопитающие; Т. II, ч. 2).

Постановление Правительства Республики Коми от 13.11.2019 г. N 545 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/561611672> (дата обращения: 21.04.2020).

Примаков Т. И., Сельницин А. А., Маснев В. А. Бурый медведь Камчатки: динамика численности, конфликтов и изъятий в 2017–2019 гг. // Наука и образование: отечественный и зарубежный опыт: Сб. статей 28-й Международ. науч.-практ. конф. (Белгород, 16 марта 2020 г.). Белгород, 2020. С. 353–357.

Пручкин В. Д., Обухов В. Д. Промышленное освоение лесов в XX веке // Лесное хозяйство и лесные ресурсы Республики Коми. М.: Дизайн. Информация. Картография, 2000. С. 78–83.

Пучковский С. В. Бурый медведь в России: управление популяциями. Ижевск: Удмуртский университет, 2021. 320 с.

Суворов А., Катюшин А. Бурый медведь и человек: опасное соседство // Охота и охотничье хозяйство. 2015. № 9. С. 18–21.

Точка кипения: в Коми ищут способы, как решить проблему агрессии волков // ИА Комиинформ [Электронный ресурс]. URL: <https://komiinform.ru/news/190448/> (дата обращения: 21.04.2020).

Учеты и ресурсы охотничьих животных России / Под ред. В. И. Машкина. Киров: ВНИИОЗ РАСХН: ВГСХА, 2007. 302 с.

Число абонентских устройств подвижной радиотелефонной (сотовой) связи на 1000 человек населения по субъектам Российской Федерации (на конец года; штук) // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/gQCBVZhd/sof.xls> (дата обращения: 30.06.2021).

Ligr. Краткая история камер в телефонах // Fishki.net [Электронный ресурс]. URL: [https://fishki.net/2454668-kratkaja-istorija-kamer-v-telefonah.html?utm\\_source=aab&sign=290948609211638%2C507603263895850](https://fishki.net/2454668-kratkaja-istorija-kamer-v-telefonah.html?utm_source=aab&sign=290948609211638%2C507603263895850) (дата обращения: 30.06.2021).

Aickin M., Gensler H. Adjusting for multiple testing when reporting research results: the Bonferroni vs Holm methods // Am. J. Public Health. 1996. Vol. 86, no. 5. P. 726–728. doi: 10.2105/AJPH.86.5.726

Ambarli H. Analysis of wolf-human conflicts: implications for damage mitigation measures // Eur. J. Wildlife Res. 2019. Vol. 65, no. 6. Art. 81. doi: 10.1007/s10344-019-1320-4

Baker R. O., Timm R. M. Coyote attacks on humans, 1970–2015: implications for reducing the risks // Human-Wildlife Interactions. 2017. Vol. 11, no. 2. P. 120–132. doi: 10.26077/jy37-s271

Bombieri G., Naves J., Penteriani V., Selva N., Fernández-Gil A., López-Bao J. V., Ambarli H., Bautista C., Bupalova T., Bobrov V., Bolshakov V., Bondarchuk S., Camarra J. J., Chiriac S., Ciucci P., Dutsov A., Dykyy I.,

Fedriani J. M., García-Rodríguez A., Garrote P. J., Gashv S., Groff C., Gutleb B., Haring M., Härkönen S., Huber D., Kaboli M., Kalinkin Y., Karamanlidis A. A., Karpin V., Kastrikin V., Khlyap L., Khoetsky P., Kojola I., Kozlov Y., Korolev A., Korytin N., Kozshechkin V., Krofel M., Kurhinen J., Kuznetsova I., Larin E., Levykh A., Mamontov V., Männil P., Melovski D., Mertzanis Y., Meydus A., Mohammadi A., Norberg H., Palazón S., Pătrașcu L. M., Pavlova K., Pedrini P., Quenette P. Y., Revilla E., Rigg R., Rozhkov Y., Russo L. F., Rykov A., Saburova L., Sahlén V., Saveljev A. P., Seryodkin I. V., Shelekhov A., Shishikin A., Shkvyria M., Sidorovich V., Sopin V., Støen O., Stofik J., Swenson J. E., Tirski D., Vasin A., Wabakken P., Yarushina L., Zwijacz-Kozica T., Delgado M. M. Brown bear attacks on humans: a worldwide perspective // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. Art. 8573. doi: 10.1038/s41598-019-44341-w

Budic L. Brown bears in northern and southern Europe: are they seeking food or avoiding dominant bears? Master thesis. Norwegian University of Life Sciences. 2010. 46 p.

Cimpoca A., Voiculescu M. Patterns of human – brown bear conflict in the urban area of Brașov, Romania // Sustainability. 2022. Vol. 14. Art. 7833. doi: 10.3390/su14137833

Conover M. R. Why are so many people attacked by predators? // Human-Wildlife Interactions. 2008. Vol. 2, no. 2. P. 139–140.

Dai Y., Hacker C. E., Zhang Y., Li Y., Li J., Xue Y., Li D. Conflicts of human with the Tibetan brown bear (*Ursus arctos pruinosus*) in the Sanjiangyuan region, China // Global Ecology and Conservation. 2020. Vol. 22. Art. e01039. doi: 10.1016/j.gecco.2020.e01039

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4, no. 1. Art. 4.

Kudrenko S., Ordiz A., Barysheva S. L., Baskin L., Swenson J. E. Human injuries and fatalities caused by brown bears in Russia, 1932–2017 // Wildlife Biology. 2020. No. 1. Art. wlb.00611. doi: 10.2981/wlb.00611

Migration of predators near populated areas in the Barents Region // Barents Euro-Arctic Cooperation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.barentscooperation.org/events/Migration-of-Predators-near-Populated-Areas-in-the-Barents-Region/3cn33qja/96fe6da6-2858-498e-be9b-1bef2248e354> (дата обращения: 27.07.2021).

Morehouse A. T., Graves T. A., Mikle N., Boyce M. S. Nature vs. nurture: Evidence for social learning of conflict behaviour in grizzly bears // PLoS ONE. 2016. Vol. 11, no. 11. Art. e0165425. doi: 10.1371/journal.pone.0165425

Penteriani V., Delgado M., Pinchera F., Naves J., Fernández-Gil A., Kojola I., Härkönen S., Norberg H., Frank J., Fedriani J. M., Sahlén V., Støen O.-G., Swenson J. E., Wabakken P., Pellegrini M., Herrero S., López-Bao J. V. Human behaviour can trigger large carnivore attacks in developed countries // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. Art. 20552. doi: 10.1038/srep20552

## References

Administrative-territorial and municipal structure of the Komi Republic (as of August 1, 2016). Syktyvkar; 2016. 278 p. (In Russ.)

Aickin M., Gensler H. Adjusting for multiple testing when reporting research results: the Bonferroni vs Holm methods. *Am. J. Public Health*. 1996;86(5):726–728. doi: 10.2105/AJPH.86.5.726

Ambarlı H. Analysis of wolf-human conflicts: implications for damage mitigation measures. *Eur. J. Wildlife Res.* 2019;65(6):81. doi: 10.1007/s10344-019-1320-4

Baker R. O., Timm R. M. Coyote attacks on humans, 1970–2015: implications for reducing the risks. *Human-Wildlife Interactions*. 2017;11(2):120–132. doi: 10.26077/jy37-s271

Belyanchikov E. Stop the massacre or save our lives? The scandal around the regulation of the number of bears in Karelia. *Karelia.news*. URL: <https://www.karelia.news/news/2376949/ostanovite-bojnu-ili-spasite-nasizizni-skandal-vokrug-regulacii-cislennost-medveda-v-karelii> (accessed: 28.07.2021). (In Russ.)

Boiling point: They are looking for ways to solve the problem of wolf aggression in Komi. *Komiinform news agency*. URL: <https://komiinform.ru/news/190448/> (accessed: 21.04.2020). (In Russ.)

Bombieri G., Naves J., Penteriani V., Selva N., Fernández-Gil A., López-Bao J. V., Ambarlı H., Bautista C., Bepalova T., Bobrov V., Bolshakov V., Bondarchuk S., Camarra J. J., Chiriac S., Ciucci P., Dutsov A., Dykyy I., Fedriani J. M., García-Rodríguez A., Garrote P. J., Gashev S., Groff C., Gutleb B., Haring M., Härkönen S., Huber D., Kaboli M., Kalinkin Y., Karamanlidis A. A., Karpin V., Kastrikin V., Khlyap L., Khoetsky P., Kojola I., Kozlov Y., Korolev A., Korytin N., Kozshechkin V., Krofel M., Kurhinen J., Kuznetsova I., Larin E., Levykh A., Mamontov V., Männil P., Melovski D., Mertzanis Y., Meydus A., Mohammadi A., Norberg H., Palazón S., Pătrașcu L. M., Pavlova K., Pedrini P., Quenette P. Y., Revilla E., Rigg R., Rozhkov Y., Russo L. F., Rykov A., Saburova L., Sahlén V., Saveljev A. P., Seryodkin I. V., Shelekhov A., Shishikin A., Shkvyria M., Sidorovich V., Sopin V., Støen O., Stofik J., Swenson J. E., Tirski D., Vasin A., Wabakken P., Yarushina L., Zwijacz-Kozica T., Delgado M. M. Brown bear attacks on humans: a worldwide perspective. *Scientific Reports*. 2019;9:8573. doi: 10.1038/s41598-019-44341-w

Budic L. Brown bears in northern and southern Europe: Are they seeking food or avoiding dominant bears? Master thesis. Norwegian University of Life Sciences. 2010. 46 p.

Budyko M. I. Global ecology. Moscow: Mysl'; 1977. 327 p. (In Russ.)

Cimpoca A., Voiculescu M. Patterns of human – brown bear conflict in the urban area of Brașov, Romania. *Sustainability*. 2022;14:7833. doi: 10.3390/su14137833

Conover M. R. Why are so many people attacked by predators? *Human-Wildlife Interactions*. 2008;2(2):139–140.

Dai Y., Hacker C. E., Zhang Y., Li Y., Li J., Xue Y., Li D. Conflicts of human with the Tibetan brown bear (*Ursus arctos pruinus*) in the Sanjiangyuan region, China. *Global Ecology and Conservation*. 2020;22:e01039. doi: 10.1016/j.gecco.2020.e01039

Gubar' Yu. P. Brown bear. *Sostoyanie okhotnich'ikh resursov v Rossiiskoi Federatsii v 2008–2010 gg.* = *The state of hunting resources in the Russian Federation in 2008–2010. Informational and analytical materials*. Moscow: Fizicheskaya kul'tura; 2011. P. 153–161. (In Russ.)

Gubar' Yu. P. Brown bear. *Sostoyanie resursov okhotnich'ikh zivotnykh v Rossiiskoi Federatsii = The state of game animal resources in the Russian Federation. Informational and analytical materials*. Moscow: Tsentrokhotkontrol'; 2000. P. 66–69. (In Russ.)

Gubar' Yu. P. Brown bear. *Sostoyanie resursov okhotnich'ikh zivotnykh v Rossiiskoi Federatsii v 2000–2003 gg.* = *The state of game animal resources in the Russian Federation in 2000–2003. Informational and analytical materials*. Moscow: Tsentrokhotkontrol'; 2004. P. 74–78. (In Russ.)

Gubar' Yu. P. Brown bear. *Sostoyanie resursov okhotnich'ikh zivotnykh v Rossiiskoi Federatsii v 2003–2007 gg.* = *The state of game animal resources in the Russian Federation in 2003–2007. Informational and analytical materials*. Moscow: Tsentrokhotkontrol'; 2007. P. 73–81. (In Russ.)

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):4.

In Komi, investigators have established the cause of death of a 14-year-old girl from the Yedva Udora District. *Komiinform news agency*. URL: <https://komiinform.ru/news/186113/> (accessed: 21.04.2020). (In Russ.)

In which districts of Komi in 2020 wild animals most often went to people. *BNK news agency*. URL: <https://www.bnkomi.ru/data/news/123020/> (accessed: 28.07.2021). (In Russ.)

Kobzar' A. I. Applied mathematical statistics. For engineers and scientists. Moscow: Fizmatlit; 2006. 816 p. (In Russ.)

Komi ASSR. Administrative-territorial division as of January 1, 1986. Syktyvkar: Komi knish. izd-vo; 1986. 124 p. (In Russ.)

Korolev A. N., Ivanov V. A., Babkina N. Yu., Yakovleva V. A. On the spatial distribution of brown bear (*Ursus arctos* L., 1758) in the Komi Republic. *Vestnik okhotovedeniya = The Herald of Game Management*. 2018;15(4):261–265. (In Russ.)

Korolev A. N. Some aspects of the problem of wolfs (*Canis lupus* L.) penetration in the settlements of the Komi Republic. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2021;3:144–150. doi: 10.25750/1995-4301-2021-3-237-243 (In Russ.)

Korshunov A. A., Shaimardanov V. M., Shaimardanov M. Z., Shamin S. I. The recurrence of dangerous hydrometeorological phenomena that caused socio-economic damage in 1998–2017. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019;11:13–19. (In Russ.)

Krechmar A. V. Once again about bears and photographers. *Priroda = Nature*. 2009;10:57–63. (In Russ.)

Kudrenko S., Ordiz A., Barysheva S. L., Baskin L., Swenson J. E. Human injuries and fatalities caused by brown bears in Russia, 1932–2017. *Wildlife Biology*. 2020;1:wlb.00611. doi: 10.2981/wlb.00611

Ligr. A brief history of cameras in telephones. *Fishki.net*. URL: [https://fishki.net/2454668-kratkaja-istorija-kamer-v-telefonah.html?utm\\_source=aab&sign=290948609211638%2C507603263895850](https://fishki.net/2454668-kratkaja-istorija-kamer-v-telefonah.html?utm_source=aab&sign=290948609211638%2C507603263895850) (accessed: 30.06.2021). (In Russ.)

Mashkin V. I. (ed.). Record and resources of game animals in Russia. Kirov: VNIIOZ RASKhN: VGSKhA; 2007. 302 p. (In Russ.)

Maslov V. I., Popov V. K., Romanov A. N. The hunting economy of the Komi ASSR and the ways of its development. *Trudy Komi filiala AN SSSR = Proceedings of the Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR*. Iss. 11. Syktyvkar: Komi knish. izd-vo; 1961. P. 130–140. (In Russ.)

Megalinskaya I. Z., Tertitsa T. K. The influence of weather conditions in 2010 on the fruiting of wild berries in the Pechora-Ilychsky Reserve. *Trudy Mordovskogo gos. prirodnogo zapovednika imeni P. G. Smidovicha = Proceedings of the Mordovian State Natural Reserve named after P. G. Smidovich*. Iss. IX. Saransk-Pushta; 2011. P. 99–105. (In Russ.)

Migration of predators near populated areas in the Barents Region. Barents Euro-Arctic Cooperation. URL: <https://www.barentscooperation.org/events/Migration-of-Predators-near-Populated-Areas-in-the-Barents-Region/3cn33qja/96fe6da6-2858-498e-be9b-1bef2248e354> (accessed: 27.07.2021).

Mokhov I. I., Semenov V. A. Weather and climatic anomalies in Russian regions and their relationship with global climate changes. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2016;2:16–28. (In Russ.)

Morehouse A. T., Graves T. A., Mickle N., Boyce M. S. Nature vs. nurture: Evidence for social learning of conflict behaviour in grizzly bears. *PLoS ONE*. 2016;11(11): e0165425. doi: 10.1371/journal.pone.0165425

On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2019. State report. Moscow; 2020. 1000 p. (In Russ.)

Payments of remuneration for the hunting extraction of wolves and bears in Komi have been extended. *Komiinform news agency*. URL: <https://komiinform.ru/news/192903/> (accessed: 21.04.2020). (In Russ.)

Pazhetnov V. S. Brown bear. Moscow: Agropromizdat; 1990. 215 p. (In Russ.)

Penteriani V., Delgado M., Pinchera F., Naves J., Fernández-Gil A., Kojola I., Härkönen S., Norberg H., Frank J., Fedriani J. M., Sahlén V., Støen O.-G., Swenson J. E., Wabakken P., Pellegrini M., Herrero S., López-Bao J. V. Human behaviour can trigger large carnivore attacks in developed countries. *Scientific Reports*. 2016;6:20552. doi: 10.1038/srep20552

Polezhaev N. M., Neifel'd N. D. *Ursus (Ursus) arctos* L., 1758 – Brown bear. *Mlekopitayushchie. Kitoobraznye, Khishchnye, Lastonogie, Parnopalye = Mammals. Cetaceans, Carnivores, Pinnipeds, Artiodactyles*. St. Petersburg: Nauka; 1998. P. 66–80. Fauna of the European North-East of Russia. Mammals; Vol. II, part 2]. (In Russ.)

Primak T. I., Sel'nitsin A. A., Masnev V. A. Brown bear of Kamchatka: Dynamics of numbers, conflicts and hunting extraction in 2017–2019. *Nauka i obrazovanie*:

*otchestvennyy i zarubezhnyy opyt: sbornik statei 28-i Mezhdunar. konf. (Belgorod, 16 marta 2020 g.) = Science and education: Domestic and foreign experience. Proceed. of the 28<sup>th</sup> Intern. conf. (Belgorod, March 16, 2020)*. Belgorod; 2020. P. 353–357. (In Russ.)

Pruchkin V. D., Obukhov V. D. Industrial development of forests in the XX century. *Lesnoe khozyaistvo i lesnye resursy Respubliki Komi = Forestry and forest resources of the Komi Republic*. Moscow: Dizain. Informatsiya. Kartografiya; 2000. P. 78–83. (In Russ.)

Puchkovskii S. V. Brown bear in Russia: Population management. Izhevsk: Udmurtskii universitet; 2021. 320 p. (In Russ.)

Resolution of the Government of the Komi Republic of 13.11.2019 N 545. *Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov = Electronic fund of legal and regulatory documents*. URL: <http://docs.cntd.ru/document/561611672> (accessed: 21.04.2020). (In Russ.)

State report *On the state of the natural environment of the Komi Republic in 2000*. Syktyvkar; 2001. 195 p. (In Russ.)

State report *On the state of the natural environment of the Komi Republic in 2009*. Syktyvkar; 2010. 120 p. (In Russ.)

State report *On the state of the natural environment of the Komi Republic in 2010*. Syktyvkar; 2011. 116 p. (In Russ.)

State report *On the state of the natural environment of the Komi Republic in 2019*. Syktyvkar; 2020. 162 p. (In Russ.)

State report *On the state of the natural environment of the Komi Republic in 2020*. Syktyvkar; 2021. 165 p. (In Russ.)

Suvorov A., Katyushin A. Brown bear and man: Dangerous adjacency. *Okhota i okhotnich'e khozyaistvo = Hunting and Hunting Economy*. 2015;9:18–21. (In Russ.)

The number of subscriber devices of mobile radio-telephone (cellular) communication per 1000 people in the constituent entities of the Russian Federation (at the end of the year; units). *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki = Federal State Statistics Service*. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/gQCBVZh/sot.xls> (accessed: 30.06.2021). (In Russ.)

Vinogradova V. V. Heat waves on the European territory of Russia at the beginning of the XXI century. *Regional Research of Russia*. 2014;1:47–55. doi: 10.15356/0373-2444-2014-1-47-55 (In Russ.)

Zakharova L. Wild animals are increasingly appearing in cities and villages of the Arkhangelsk Region. *Pravda Severa = The Truth of the North*. URL: <https://pravdasevera.ru/2017/11/22/60b0a0f5b43ef52e7c681a20.html> (accessed: 28.07.2021). (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 09.12.2021; принята к публикации / accepted: 29.11.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Королев Андрей Николаевич**

младший научный сотрудник отдела экологии животных

e-mail: korolev@ib.komisc.ru

## CONTRIBUTOR:

**Korolev, Andrey**

Junior Researcher

УДК 556.555 : 574.55:504.61(282.247.211.1)

## ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ОЗЕРА ВЕДЛОЗЕРО И ОТДЕЛЬНОГО ЕГО ЗАЛИВА В РЕЗУЛЬТАТЕ АНТРОПОГЕННОГО ЭВТРОФИРОВАНИЯ

**А. В. Сабылина, Т. А. Ефремова\***

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030),  
\*efremova.nwpi@mail.ru*

Озеро Ведлозеро является аккумулярующей системой многопланового антропогенного воздействия. В его бассейне начиная с 70-х годов прошлого столетия произошли значительные изменения ландшафтной структуры водосборов рек и ручьев в юго-восточной и западной частях озера. Сведение лесов, распашка и мелиорация земель – все это обогатило озерные воды биогенными и органическими веществами. В воды северо-восточного залива озера поступает значительное количество сточных вод поселка Ведлозеро и воды р. Вохтозерки, водосбор которой освоен в сельскохозяйственном отношении. Высокие среднегодовые концентрации общего фосфора 47–173 мкг/л в воде залива обуславливают постоянное цветение воды в период открытой воды. В водах залива интенсивно развиваются сине-зеленые водоросли (цианобактерии *Synechocystis* sp.), которые при жизни выделяют токсичные вещества (нейро-, гепато- и дерматотоксины), опасные для людей и животных. Массовое развитие цианобактерий в воде северо-восточного залива оз. Ведлозеро в летний период стало вызывать у купающихся жителей пос. Ведлозеро, особенно у детей, поражение кожного покрова – аллергический дерматит.

Ключевые слова: озеро Ведлозеро; антропогенное эвтрофирование; цветение воды; органическое вещество; биогенные элементы; минерализация; кислород; рН воды

Для цитирования: Сабылина А. В., Ефремова Т. А. Изменение химического состава вод озера Ведлозеро и отдельного его залива в результате антропогенного эвтрофирования // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 20–30. doi: 10.17076/esc1718

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН).

# A. V. Sabylina, T. A. Efremova\*. CHANGES IN WATER CHEMICAL COMPOSITION IN LAKE VEDLOZERO AND ONE OF ITS BAYS AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC EUTROPHICATION

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*efremova.nwpi@mail.ru

Lake Vedlozero is an accumulating system of a variety of anthropogenic impacts. Since the 1970s, significant changes have occurred in the landscape structure of stream catchments in the southeastern and western parts of the lake's drainage basin. Deforestation, conversion to arable land and drainage have enriched the lake water with nutrients and organic matter. The northeastern bay of the lake receives substantial amounts of wastewater from the village of Vedlozero and water from the River Vokhtozerkka, affected by agriculture in the catchment. High average annual concentrations of total phosphorus (47–173 µg/l) in the water of the bay cause continuous blooming during the open water period. Blooming intensively in the bay, blue-green algae (cyanobacteria) release toxic substances (neuro-, hepato-, and dermatotoxins) dangerous for humans and animals. Massive development of cyanobacteria in the northeastern bay of Lake Vedlozero in summer now causes skin disorders, specifically allergic dermatitis, in Vedlozero village inhabitants (especially children) who swim in the lake.

**Keywords:** Lake Vedlozero; anthropogenic eutrophication; algal blooms; organic matter; nutrients; total dissolved solids; oxygen; water pH

**For citation:** Sabylina A. V., Efremova T. A. Changes in water chemical composition in Lake Vedlozero and one of its bays as a result of anthropogenic eutrophication. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 20–30. doi: 10.17076/eco1718

**Funding.** The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRC RAS (Northern Water Problems Institute KarRC RAS).

## Введение

Озеро Ведлозеро – мезотрофный водоем в южной части Карелии [Озера..., 2013]. Его водосбор хорошо освоен в хозяйственном отношении. Здесь высокая плотность населения, развито сельское хозяйство. Озеро используется для водоснабжения, рекреации, рыбного промысла. Современное состояние экосистемы оз. Ведлозеро, сформировавшееся в результате взаимодействия природных процессов, развивающихся в водной среде и на водосборе озера, находится под повышенным влиянием антропогенной нагрузки. Особенное воздействие испытывает экосистема его северо-восточной части, где располагается поселок Ведлозеро и куда впадает р. Вохтозерка. В реку из очистных сооружений поступают сточные воды поселка, а в 70-е годы прошлого века прибрежную территорию озера соединили с островом дамбой, что резко изменило здесь гидрологический режим. В результате этой постройки появился искусственно созданный залив, мелководный и непроточный. Воды залива подвержены интенсивному цветению вследствие увеличения концентрации сине-зеленых водорослей (цианобактерий), ко-

торые при жизни выделяют токсичные вещества, опасные для людей и животных. Массовое развитие цианобактерий в воде северо-восточного залива оз. Ведлозеро в летний период стало вызывать у купающихся жителей пос. Ведлозеро, особенно у детей, поражение кожного покрова – аллергический дерматит. Цианобактерии продуцируют опасные для жизни нейро-, гепато- и дерматотоксины [Белых и др., 2013; Румянцев и др., 2022]. Употребление воды цветущего залива в питьевых целях стало опасно для жителей и домашнего скота. Токсический эффект воды может привести к гаффской (юксовской) болезни, которая как раз проявляется в районах умеренной климатической зоны (Юксовское озеро в Ленинградской области, Сартланское – в Новосибирской и Котокель – в Республике Бурятия). Цианотоксины сложно устранить как термической обработкой, так и длительным хранением при минусовой температуре [Лудупова и др., 2009]. Наблюдающееся с 1989 г. устойчивое повышение температуры воздуха в южной части Карелии [Назарова, 2015] способствует развитию в летне-осенний период токсичных цианобактерий, что усугубляет экологическое состояние озера Ведлозеро.

Целью настоящей работы является исследование химического состава воды оз. Ведлозеро и его северо-восточного залива, находящихся под влиянием природной и антропогенной нагрузки.

### Объекты и методы исследования

Озеро Ведлозеро расположено на водосборе р. Видлицы – притока Ладожского озера. В озеро впадают реки Няльма и Вохтозерка (Вухтанеги) и несколько ручьев. Площадь озера – 58 км<sup>2</sup>, площадь водосбора – 564 км<sup>2</sup>, показатель условного водообмена – 1,6 год<sup>-1</sup>. Средняя глубина озера 7 м, максимальная – 14,6 м.

Характеристика современного химического состава вод оз. Ведлозеро и притока р. Вохтозерка приводится по результатам исследований, выполненных на пяти станциях во все гидрологические сезоны (зима, весна, лето, осень) 2021 г. (рис.). Станция 1 располагалась в изолированном дамбой заливе в 50 м от бе-

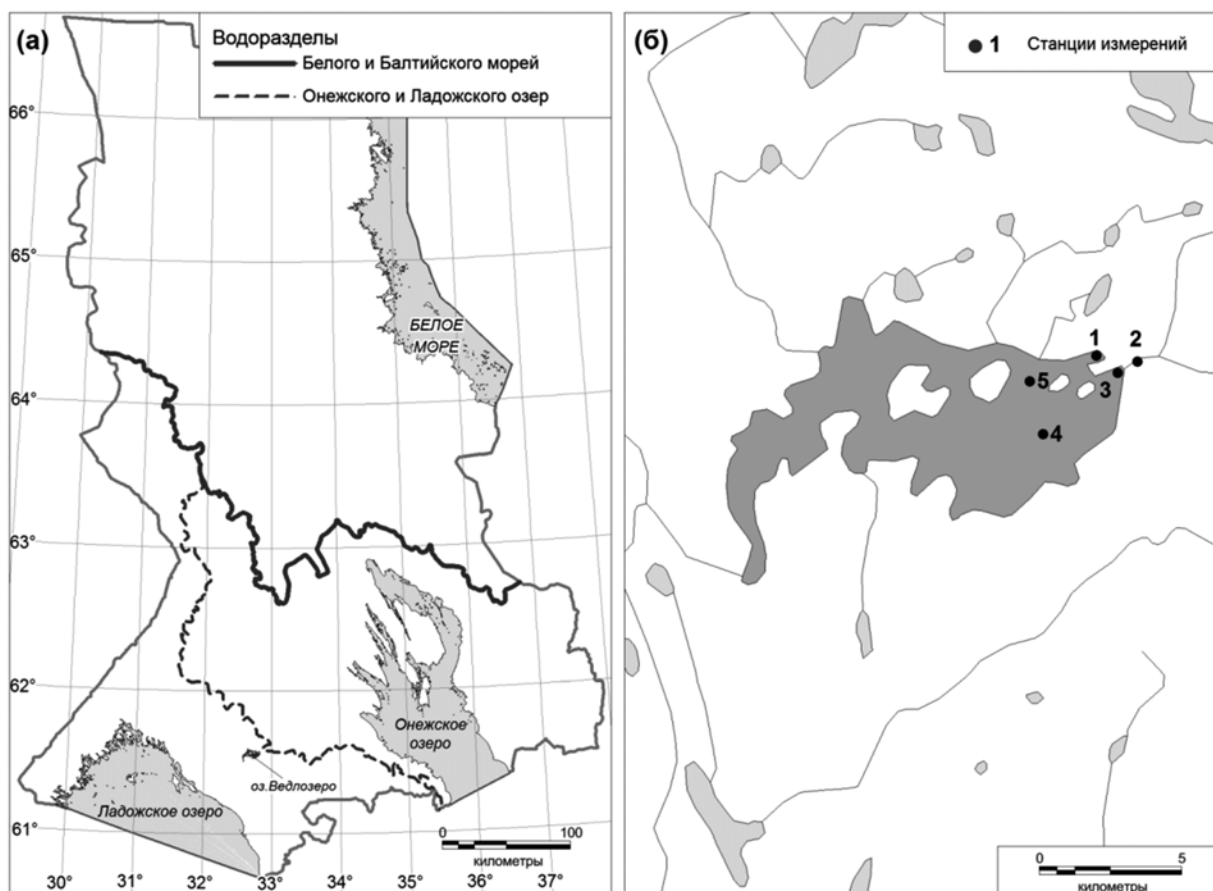
рега, на глубине около 1,5 м. Станция 2 – в р. Вохтозерка вблизи ее впадения в оз. Ведлозеро. Станция 3 находилась вблизи устья р. Вохтозерка в 50 м от берега, глубина станции 1,7 м. Станция 4 располагалась в центральной глубоководной части озера в весенний период на глубине 7 м. Станция 5 находилась также в центральной глубоководной части озера между островами (глубина 8 м) в летний и осенний периоды. Пробы воды отбирались со стандартных горизонтов (0,5; 2,0; 5,0 и т. д.).

Химический анализ воды проводили по следующим показателям:

1. Минерализация, электропроводность и ионный состав воды ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

2. Органическое вещество (ОВ): цветность, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода за 5 суток ( $\text{БПК}_5$ ).

3. Биогенные элементы:  $\text{P}_{\text{общ}}$ ,  $\text{P}_{\text{мин}}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_{\text{орг}}$ , Si, Fe, Mn.



Расположение оз. Ведлозеро на карте Карелии (а), схема отбора проб воды в оз. Ведлозеро в 2021 г. (б)  
Location of Lake Vedlozero on the map of Karelia (a) and the scheme of the water sampling stations in Lake Vedlozero in 2021 (b)

4. pH воды, взвешенное вещество.

5. Загрязняющие вещества: нефтепродукты.

При выполнении химических анализов использовали методы, описанные в пособии [Аналитические..., 2017]. Щелочность (Alk, мг-экв/л) определялась потенциометрическим методом с двухточечным титрованием до pH 4,5 и 4,2;  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – пламенно-фотометрическим;  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – атомно-абсорбционным;  $\text{SO}_4^{2-}$  – фотометрическим с хлоридом бария и сульфоназо III;  $\text{Cl}^-$  – фотометрическим с тиоцианатом ртути и нитратом железа (III);  $\text{NH}_4^+$  – фотометрическим индофенольным;  $\text{NO}_3^-$  – восстановлением на кадмиевом редуторе и с последующим анализом нитритов с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилендиамина дигидрохлоридом;  $\text{N}_{\text{общ}}$  – персульфатным окислением в щелочной среде;  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  – атомно-абсорбционным;  $\text{P}_{\text{общ}}$  – персульфатным окислением и последующим анализом фосфора минерального;  $\text{P}_{\text{мин}}$  – фотометрическим методом Морфи и Райли; нефтепродукты – экстракционно-хроматографическим ИК-спектрометрическим методом; взвешенное вещество – гравиметрическим; Si – фотометрическим методом в виде желтой кремниймолибденовой гетерополиокислоты.

В работе применялись ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [Нормативы..., 2016].

## Результаты и обсуждение

В настоящее время трофический статус водоема принято оценивать по концентрации общего фосфора. Именно за счет увеличения его концентрации происходит рост биопродуктивности водоема.

Сезонные исследования химического состава воды проведены на главном притоке оз. Ведлозеро – **р. Вохтозерка**. Амплитуда сезонных колебаний минерализации воды этой реки выражена и составляет от 25,5 мг/л в весеннее половодье до 58,8 мг/л в осенний паводок (табл. 1). Во все сезоны года речная вода относится к гидрокарбонатному классу (доля  $\text{HCO}_3^-$  – 79,2 % экв), группе кальция (в среднем – 43,7 % экв). Косвенные показатели органического вещества (ОВ) – цветность, перманганатная окисляемость, ХПК и БПК<sub>5</sub> – претерпевают значительные изменения (табл. 2). Наибольшие величины цветности, ПО и величин ХПК приходятся на период весеннего половодья. ОВ в воде реки стойкое к биохимическому окислению; величины БПК<sub>5</sub> колеблются от 0,8 до 1,6 мгО<sub>2</sub>/л, отношение ПО : ХПК колеблется от 36 до 71 % в течение года.

Главную роль в формировании химического состава вод оз. Ведлозеро играют воды р. Вохтозерка, в которую сбрасываются недостаточ-

Таблица 1. Минерализация и ионный состав воды р. Вохтозерка в 2021 г. (ст. 2)

Table 1. Mineralization and ionic composition of water in the Vokhtozzerka River in 2021 (St. 2)

Дата отбора Date	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>и</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	мг/л mg/l								% экв % equiv.						
02.03	5,6	2,4	0,9	3,3	33,7	1,0	2,5	49,4	43,4	30,7	3,6	22,3	85,8	3,2	11,0
14.05	3,1	1,3	0,9	2,4	14,9	1,1	1,8	25,5	39,8	27,5	5,9	26,8	76,8	7,2	16,0
13.07	5,8	2,5	0,7	2,2	13,2	0,9	2,5	27,8	47,6	33,8	2,9	15,7	70,8	6,1	23,1
30.09	7,9	3,4	1,2	4,4	37,3	1,3	3,3	58,8	44,0	31,2	3,4	21,4	83,6	3,7	12,7

Таблица 2. Показатели содержания органических веществ, кислорода и величины pH в воде р. Вохтозерка в 2021 г.

Table 2. Indicators of organic matter, oxygen content and pH in the water of the Vokhtozzerka River in 2021

Дата отбора Date	Цв., град. Color, PCU*	ПО COD <sub>Mn</sub>	ХПК COD <sub>Cr</sub>	БПК <sub>5</sub> , мг O <sub>2</sub> /л BOD <sub>5</sub> , mg O <sub>2</sub> /l	O <sub>2</sub> , мг/л mg/l	O <sub>2</sub> , %	pH	ПО : ХПК, % COD <sub>Mn</sub> : COD <sub>Cr</sub> , %
		мгО/л mgO/l						
02.03	61	8,5	23,4	1,3	9,2	63	6,59	36
14.05	105	14,4	32,1	1,1	8,6	79	6,71	45
13.07	60	13,0	18,3	1,6	6,1	58	6,95	71
30.09	67	11,8	27,1	0,8	8,3	69	6,89	43

Примечание. \* Здесь и далее PCU – Platinum Color Units.

Note. \* Here and further PCU – Platinum Color Units.

но очищенные коммунально-бытовые сточные воды пос. Ведлозеро. Содержание минерального фосфора в воде северо-восточного залива в период зимней стагнации достигает очень высоких величин – 120 мкг/л, а нитратного азота – 0,21 мг/л, что благоприятствует высокой биологической продуктивности вод залива в период открытой воды. Сезонные изменения содержания минерального фосфора в воде р. Вохтозерка выраженные: максимум наблюдается летом и осенью, причем осенний больше, чем летний (табл. 3). В эти периоды он в значительной степени поступает с селитебной территории п. Ведлозеро и с сельскохозяйственных угодий, находящихся на водосборе реки. Среднегодовое содержание общего фосфора в воде реки очень высокое и составляет 89 мкг/л. Максимальное его содержание отмечено в период зимней межени (см. табл. 3).

Внутригодовое изменение концентраций аммонийного азота в отличие от нитратного наиболее выражено в речных водах. Содержание его изменяется в пределах 0,01–0,17 мг/л. Наиболее высокие концентрации определены летом (см. табл. 3). Условия среды (низкий процент насыщения воды кислородом – 58 %) способствуют отставанию скорости процесса нитрификации от скорости аммонификации. Содержание нитратного азота в воде реки низкое:

0,02–0,07 мг/л. Максимальные его концентрации обнаружены осенью (см. табл. 3).

Концентрация общего железа в воде р. Вохтозерка колеблется в узких пределах – от 0,7 до 1,3 мг/л с летне-осенним максимумом его концентрации. Содержание растворенного кремния в речных водах в течение года варьирует от 2,9 до 5,2 мг/л (см. табл. 3). Низкие концентрации кремния приурочены к половодью.

Воды р. Вохтозерка постоянно имеют дефицит кислорода от 21 до 42 % (см. табл. 2). Наибольший дефицит кислорода наблюдается в летний и зимний период. Величина рН воды в реке в течение года нейтральная – 6,59–6,95. Она минимальна в зимнюю межень.

#### Химический состав воды оз. Ведлозеро.

Формирование химического состава воды озера происходит в условиях слабой растворимости коренных пород (граниты, гнейсо-граниты и др.), хорошо промытых четвертичных отложений и значительного количества атмосферных осадков (среднее 630 мм в год). Эти факторы обуславливают низкую минерализацию вод оз. Ведлозеро ( $\Sigma_{и} < 100$  мг/л; табл. 4). Среднегодовая концентрация суммы главных ионов, по данным 2021 г., составляет 23,6 мг/л. По ионному составу вода относится к гидрокарбонатному классу. На долю  $\text{HCO}_3^-$  в анионном составе воды приходится в среднем 74,4 % экв.

Таблица 3. Содержание биогенных элементов в воде р. Вохтозерка в 2021 г.

Table 3. Nutrients content in the Vokhtozzerka River in 2021

Дата отбора Date	Р <sub>мин</sub> <sup>3</sup> мкг/л Р <sub>мин</sub> <sup>3</sup> µg/l	Р <sub>общ</sub> <sup>3</sup> мкг/л TP, µg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>орг</sub> N <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub> TN	Fe <sub>общ</sub> <sup>3</sup> мг/л Fe <sub>tot</sub> <sup>3</sup> mg/l	Si, мг/л mg/l
02.03	38	124	0,01	0,07	0,22	0,3	0,7	4,8
14.05	36	66	0,03	0,03	0,37	0,43	0,8	2,9
12.07	55	77	0,17	0,04	0,25	0,46	1,2	3,3
30.09	69	87	0,09	0,02	0,33	0,44	1,3	5,2

Таблица 4. Среднесезонная концентрация главных ионов в оз. Ведлозеро в 2021 г. (ст. 1, 3, 4, 5).

Table 4. Seasonal concentration (mean values) of the main ions in Lake Vedlozero in 2021 (St. 1, 3, 4, 5)

Дата отбора Date	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ <sub>и</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	мг/л mg/l								% экв % equiv.						
02.03	3,1	1,4	0,7	2,3	12,5	1,0	1,7	22,7	39,9	29,7	4,6	25,8	74,9	7,6	17,5
14.05	2,8	1,3	0,6	2,1	13,9	1,4	1,7	23,8	39,5	30,3	4,4	25,8	74,7	9,6	15,7
13.07	3,1	1,4	0,6	2,1	13,5	1,7	1,7	24,1	41,1	30,6	4,1	24,3	72,6	11,6	15,7
30.09	3,3	1,4	0,7	2,4	13,4	1,7	1,3	24,2	41,0	28,6	4,5	26,0	75,3	12,1	12,6



Ион кальция – доминирующий в катионной группе (40,4 % экв). Минерализация воды озера Ведлозеро в настоящее время изменилась мало и близка к минерализации вод, исследованных в середине 80-х годов XX века [Озера..., 2013].

**Органическое вещество.** По содержанию ОВ (в период открытой воды: цветность – 76 град., ПО – 14,4 мгО/л, ХПК – 34,2 мгО/л) озеро соответствует мезогумусному типу (табл. 5) [Лозовик, 2006].

Новообразование ОВ в водоеме за счет интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона наиболее выражено в весенне-летний период в районе дамбы (ст. 1). Так, величины ХПК и БПК<sub>5</sub> в июле очень высокие

и составляли соответственно 61,3 мгО/л и 7,51 мгО<sub>2</sub>/л, что в два раза выше, чем в период половодья (табл. 6). Высока обеспеченность вод в этом районе озера биогенными элементами в зимнюю межень: содержание минерального фосфора очень высокое – 120 мкг/л, нитратного азота – 0,21 мг/л, благоприятствует биологической продуктивности (табл. 7). В результате интенсивных фотосинтетических процессов в слое 0,5 м наблюдалось летом: перенасыщение кислородом – до 123 %, возрастание величин БПК<sub>5</sub> – до 7,51 мгО<sub>2</sub>/л, ХПК – до 61,3 мгО/л, рН – до 8,39. По содержанию ХПК, БПК<sub>5</sub> и величине цветности вода в районе дамбы (ст. 1, 3) не соответствует требованиям ПДК для рыбохозяйственных водоемов (см. табл. 6).

Таблица 5. Показатели содержания ОВ в воде оз. Ведлозеро в 2021 г. (ст. 4, 5)

Table 5. Parameters of content organic matter in the water of Lake Vedlozero in 2021 (St. 4, 5)

Дата отбора Date	Горизонт Water horizon	Цв., град. Color, PCU	ПО COD <sub>Mn</sub>	ХПК COD <sub>Cr</sub>	C <sub>орг</sub> , мг/л ТОС, mg/l	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л BOD <sub>5</sub> , mgO <sub>2</sub> /l	Нефтепродукты, мг/л Total petroleum hydrocarbons, mg/l
			мгО/л mgO/l				
14.05	Поверхностный Surface	101	14,0	34,8	13,1	1,20	0,10
	Придонный Near-bottom	103	14,8	32,5	12,2	1,45	0,11
13.07	Поверхностный Surface	78	15,4	49,6	18,6	2,10	0,11
	Придонный Near-bottom	81	13,0	30,3	11,4	1,66	0,11
30.09	Поверхностный Surface	61	12,6	32,9	12,3	0,73	0,18
	Придонный Near-bottom	61	12,6	31,6	11,9	0,78	0,18

Таблица 6. Показатели содержания ОВ, кислорода и величин рН в районе дамбы (ст. 1, 3) в оз. Ведлозеро в 2021 г.

Table 6. Parameters of organic matter, oxygen content and water pH in the area of the dam (St. 1, 3) in Lake Vedlozero in 2021

Дата отбора Date	Цв., град. Color, PCU	ПО COD <sub>Mn</sub>	ХПК COD <sub>Cr</sub>	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л BOD <sub>5</sub> , mgO <sub>2</sub> /l	O <sub>2</sub> , мг/л mg/l	O <sub>2</sub> , %	рН
		мгО/л mgO/l					
02.03	101	15,6	36,3	1,23	10,7	73	6,55
14.05	82	13,6	32,1	2,12	11,6	106	7,38
13.07	77	18,2	61,3	7,51	9,8	123	8,39
30.09	55	15,4	53,1	5,35	11,3	97	7,02
ПДК для рыбо- хозяйственных водоемов MPC substances for fishery water	20	10,0	-	2,00	6,0	-	-

Показатели содержания ОВ в центре озера на ст. 4 в период весенней гомотермии выравнены по вертикали. В период летней межени в результате интенсивного фотосинтеза фитопланктона в поверхностном слое воды наблюдались: небольшое перенасыщение кислородом (до 104 %), низкое содержание CO<sub>2</sub> (0,77 мг/л), увеличение pH воды до 7,78. Концентрация O<sub>2</sub> снизилась от 8,2 в поверхностном слое до 3,4 мг/л в придонном вследствие расхода его на деструкцию новообразованного ОВ (табл. 8). В летний период средние значения БПК<sub>5</sub> (2,10 мгO<sub>2</sub>/л) максимальные в году.

Осенью с установлением гомотермии глубинные слои воды в озере вовлекаются в общую циркуляцию, химический состав воды выравнивается по вертикали. В теплую осень 2021 г. в районе дамбы, где циркуляция воды замедлена, фотосинтетические процессы фито-

планктона шли интенсивно, о чем свидетельствуют высокие величины деструкции органического вещества – БПК<sub>5</sub> равно 5,35 мгO<sub>2</sub>/л.

Загрязнение воды озера Ведлозеро нефтепродуктами максимально в северо-восточном заливе. Концентрация их в весенне-летний период составляет 0,10–0,11, в осенний – 0,18 мг/л (ПДК для рыбохозяйственных водоемов 0,05 мг/л). В центральном плесе озера (ст. 4) содержание нефтепродуктов в период открытой воды равно 0,10–0,11 мг/л.

#### Биогенные и литофильные элементы.

Важнейшим фактором, определяющим биопродуктивность водной экосистемы, является содержание биогенных (N, P) и литофильных (Si, Fe, Mn и др.) элементов.

Концентрация общего фосфора в период открытой воды в центральном плесе оз. Ведлозеро изменяется в пределах 36–90 мкг/л

Таблица 7. Показатели содержания биогенных веществ в поверхностном слое воды в районе дамбы (ст. 1) в оз. Ведлозеро в 2021 г.

Table 7. Parameters of nutrients content in surface water in the area of dam (St. 1) in Lake Vedlozero in 2021

Время отбора Date	Азот, мг/л Nitrogen, mg/l				Фосфор, мкг/л Phosphorus, µg/l		Fe <sub>общ</sub> , мг/л Fe <sub>от</sub> , mg/l	Si, мг/л mg/l
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N <sub>орг</sub> N <sub>орг</sub>	N <sub>общ</sub> TN	P <sub>мин</sub> P <sub>мин</sub>	P <sub>общ</sub> TP		
2.03	0,01	0,21	0,29	0,51	120	120	0,34	2,70
14.05	0,05	0,02	0,46	0,51	6	47	0,30	0,45
12.07	0,05	0,00	1,27	1,32	5	84	0,41	1,52
30.09	0,04	0,00	1,24	1,28	20	173	0,45	0,09

Таблица 8. Пределы колебаний величин pH, содержания диоксида углерода и кислорода в поверхностных и придонных слоях воды оз. Ведлозеро в период открытой воды (ст. 4, 5)

Table 8. Variation in water pH, carbon dioxide and oxygen content in the surface and near-bottom water horizons of Lake Vedlozero in the open water period (St. 4, 5)

Время отбора Date	Горизонт Water horizon	pH		CO <sub>2</sub> , мг/л mg/l		O <sub>2</sub>			
		Мин. Min	Макс. Max	Мин. Min	Макс. Max	мг/л mg/l		%	
		Мин. Min	Макс. Max	Мин. Min	Макс. Max	Мин. Min	Макс. Max	Мин. Min	Макс. Max
14.05	Поверхностный Surface	6,98	7,38	1,5	3,1	10,8	11,6	86	106
	Придонный Near-bottom	6,97	-	2,9	3,1	10,6	10,8	86	91
13.07	Поверхностный Surface	7,25	8,39	0,77	10,8	8,2	9,8	104	123
	Придонный Near-bottom	6,73	6,95	1,98	6,49	3,4	-	37	-
30.09	Поверхностный Surface	6,94	7,02	4,40	4,84	9,4	11,3	78	97
	Придонный Near-bottom	6,97	6,97	4,40	4,49	9,1	9,1	78	78

(в среднем 56 мкг/л), в северо-восточном районе (залив возле дамбы) – 47–173 мкг/л (в среднем 78 мкг/л).

Как показали исследования Института озераведения РАН по ряду озер Латгальской возвышенности (Латвия) и Ленинградской области, если большую часть года средние концентрации  $P_{\text{общ}}$  выше 30 мкг/л, то они стимулируют развитие фитопланктона, если выше 100 мкг/л (критическая концентрация), то они угнетающе действуют на водоросли, нарушается сбалансированность экосистемы. В водоемах, где концентрация общего фосфора равна критической или приближается к ней, первичная продукция усваивается гетеротрофными организмами на 40–60 % [Геринг, 1976; Алекин и др., 1985; Савенко, Савенко, 2007].

По заключению Sayer [1947], основанному на большом количестве натуральных данных по североамериканским озерам штата Висконсин, летнее цветение воды становится вероятным, если концентрация минерального фосфора к концу зимней стагнации равняется 10–20 мкг/л. В озере Ведлозеро к концу зимней стагнации в северо-восточном заливе в районе дамбы (ст. 1) концентрация минерального фосфора ( $P_{\text{мин}}$ ) в воде достигает 120 мкг/л и составляет 100 % от  $P_{\text{общ}}$  (табл. 7), что и обуславливает активное цветение воды в вегетационный период года. В конце сентября 2021 г. концентрации  $P_{\text{общ}}$  в районе дамбы были выше критических и составляли 178 мкг/л. Содержание  $P_{\text{общ}}$  выше 160 мкг/л тормозит биологические процессы [Алекин и др., 1985; Гусаков, 1987; Савенко, Савенко, 2007].

В летнюю межень в поверхностных слоях воды центрального плеса озера фосфаты полностью потребляются фитопланктоном. Перенасыщение воды кислородом изменяется от 104 до 123 %, величины pH воды – от 7,23 до 8,39. В период осенней гомотермии концентрация  $P_{\text{мин}}$  повышается в поверхностных слоях воды до 41 мкг/л, в придонных – до 48 мкг/л, а доля  $P_{\text{мин}}$  составляет соответственно 46 и 63 % от  $P_{\text{общ}}$  (табл. 9).

Азот является вторым компонентом, влияющим на продукционные процессы в водоеме. Нитратный азот поступает в водоем с речным стоком, атмосферными осадками и в результате бактериальной трансформации соединений азота при деструкции и минерализации автохтонного и аллохтонного ОВ.

Концентрация нитратного азота в конце зимней межени определялась только в воде в районе дамбы (ст. 1) и равнялась 0,21 мг/л. В весенний период нитрат-ионы начинают активно ассимилироваться развивающимся фитопланктоном; концентрация их в воде в районе дамбы уменьшается в 10 раз (см. табл. 7). В летний и осенний периоды в поверхностных слоях этого участка озера отсутствуют нитраты, но это не полное их исчезновение, а лишь отставание скорости процесса нитрификации от скорости их ассимиляции, так как поверхностные слои воды перенасыщены кислородом до 123 %.

Концентрация аммонийного азота в оз. Ведлозеро в районе дамбы в зимний период невысокая (0,01 мг/л), и он не накапливается, потому что параллельно процессу аммонификации

Таблица 9. Показатели содержания биогенных веществ в поверхностном и придонном слоях воды в оз. Ведлозеро (ст. 4, 5) в 2021 г.

Table 9. Parameters of nutrients content in surface and near-bottom horizons in Lake Vedlozero in 2021

Время отбора Date	Горизонт Water horizon	Азот, мг/л Nitrogen, mg/l				Фосфор, мкг/л Phosphorus, µg/l		$Fe_{\text{общ}}$ , мг/л $Fe_{\text{tot}}$ , mg/l	Si, мг/л mg/l
		$NH_4^+$	$NO_3^-$	$N_{\text{орг}}$ $N_{\text{орг}}$	$N_{\text{общ}}$ TN	$P_{\text{мин}}$ $P_{\text{мин}}$	$P_{\text{общ}}$ TP		
14.05	Поверхностный Surface	0,05	0,09	0,42	0,56	18	45	0,43	2,56
	Придонный Near-bottom	0,05	0,07	0,40	0,52	20	47	0,43	2,10
12.07	Поверхностный Surface	0,02	0,00	0,64	0,66	0	36	0,25	1,42
	Придонный Near-bottom	0,07	0,01	0,50	0,58	16	45	0,40	1,91
30.09	Поверхностный Surface	0,05	0,03	0,47	0,55	41	90	0,48	1,28
	Придонный Near-bottom	0,07	0,02	0,37	0,47	48	76	0,54	1,28

идет процесс окисления аммония нитрифицирующими бактериями. Условия среды (содержание  $O_2$  10,6 мг/л, pH 7) способствуют окислению аммиака до нитратов. В период открытой воды содержание аммонийного азота в воде этого участка озера небольшое и в среднем равняется 0,05 мг/л (см. табл. 7).

В центральном плесе озера в летнее время в поверхностном слое воды концентрация аммонийного азота низкая – 0,02 мг/л. Потребление его фитопланктоном увеличивается при отсутствии нитратов. Максимальные концентрации аммонийного азота приурочены к придонным слоям глубоководных районов озера, где обнаружен дефицит  $O_2$  (63 %) и идет процесс отдачи (диффузии) ионов аммония из донных отложений (см. табл. 9).

Преобладающей формой азота в исследуемом водоеме в течение года является органическая форма. Концентрация его в воде в районе дамбы колеблется в пределах 0,29–1,27, в центральном плесе озера – 0,37–0,64 мг/л. Содержание органического азота в северо-восточном районе озера в открытый период года очень высокое и составляет 90–97 % от общего азота. В центральном плесе озера его концентрация меньше – 76–82 %.

Содержание растворенного кремния в воде в районе дамбы составляет 0,09–2,70 мг/л, в центральном плесе озера – 1,28–2,56 мг/л (см. табл. 7, 9). Главным источником поступления кремния в водоем является речной сток (ст. 2). В конце зимней стагнации в воде в районе дамбы концентрация растворенного кремния высокая – 2,70 мг/л, в весенний и осенний сезоны она снижается до 0,45 и 0,09 мг/л, что свидетельствует об увеличении биогенного извлечения его диатомовым планктоном и является одним из признаков антропогенного эвтрофирования. Часть  $SiO_2$  изымается из круговорота и захоранивается в осадках.

Содержание общего железа ( $Fe_{общ}$ ) в воде оз. Ведлозеро в районе дамбы изменяется от 0,30 до 0,45, в открытом плесе озера – от 0,25 до 0,54 мг/л (см. табл. 7, 9). В начале марта концентрация  $Fe_{общ}$  в воде в районе дамбы составляет 0,34 мг/л. В весеннее половодье содержание  $Fe_{общ}$  в открытом плесе озера равняется 0,43 мг/л, в районе дамбы – 0,30 мг/л. К концу сентября концентрация общего железа возрастает в центре озера в среднем до 0,52, а в районе дамбы до 0,45 мг/л, что связано с увеличением поверхностного стока, понижением pH среды до 7 и повышением концентрации свободной двуокиси углерода до 4,5 мг/л.

**Газовые условия и pH воды.** Кислородные условия в озере тесно связаны с уровнем биопродуктивности и являются хорошим его индикатором.

В период исследования кислородные условия были благоприятными: в поверхностных слоях воды концентрация кислорода составляла 8,2–9,8 мг/л (63–128 % насыщения), в придонных слоях снижалась до 3,4 мг/л (37 % насыщения).

Весенняя циркуляция водных масс, происходящая при низких температурах воды, приводит к довольно равномерному распределению кислорода по глубине. Насыщение воды кислородом в этот период в среднем равно 96 % (см. табл. 8).

В летний период процессы фотосинтеза фитопланктона обогащают растворенным кислородом поверхностные слои воды. В результате развития фотосинтетических организмов (фотоавтотрофов) в районе дамбы в поверхностном слое воды полностью потребляется диоксид углерода, активная реакция среды увеличивается до 8,39, появляются карбонаты ( $CO_3^{2-}$ ) в очень небольшом количестве 1,2 мг/л.

Биохимические процессы окисления  $OB$  в гиполимнионе приводят к дефициту кислорода в придонных слоях озера. Так, в оз. Ведлозеро на ст. 5 в середине июля 2021 г. в 2-метровом поверхностном слое дефицит кислорода составлял 26 %, а в придонном слое воды он возрос до 66 %, накопилась двуокись углерода (6,5 мг/л) и уменьшилась величина pH до 6,73. Ухудшение кислородного режима в придонных слоях воды в летнее время приводит к перестройке жизнедеятельности гидробиологических сообществ и даже может привести к гибели донных организмов.

Осенью с установлением гомотермии кислородом обогащается вся водная толща озера. Кислородные условия в оз. Ведлозеро в зимний период исследовались только в районе дамбы (ст. 1). Содержание кислорода было высокое и составляло 10,6 мг/л (73 % насыщения).

## Заключение

По результатам исследований установлено, что химический состав основной водной массы озера Ведлозеро характеризуется удовлетворительным качеством. Вода маломинерализованная, выраженного гидрокарбонатного класса, группы кальция. По величине гумусности, количеству биогенных элементов и величине pH в воде озеро следует отнести к мезогумусному, эвтрофному и нейтральному. Северо-восточный залив озера, где расположена дамба, испытывает большую антропогенную нагрузку. Высокое

содержание биогенных элементов, особенно фосфора, в водах р. Вохтозерки свидетельствует о крайне неудовлетворительной очистке хозяйственно-бытовых сточных вод. В заливе, в который поступают стоки селитренных и точечных источников загрязнения, содержание биогенных элементов наиболее высокое в течение всего года, что обуславливает крайне неблагоприятное экологическое состояние этого района озера, наиболее востребованного населением с точки зрения водопользования. В летне-осенний период вода озера активно подвержена цветению вследствие развития сине-зеленых водорослей, которые в процессе жизнедеятельности выделяют опасные для человека и животных токсины.

В Англии, Финляндии, Норвегии, Швеции цианобактериальное цветение водоемов рассматривается как национальная проблема, в этих странах созданы государственные службы мониторинга массового развития цианобактерий и научные центры по изучению этого явления и методам борьбы с ним. Развитие цианобактерий сдерживается многими методами: применением синтетических альгицидов, применением эффективных видов гидробионтов-антагонистов в конкурентной борьбе за пищевые ресурсы. Из физических методов в различных странах мира применяют ультразвуковые устройства малой интенсивности (с частотой > 20 кГц). По нашему мнению, в районе северо-восточного залива озера наиболее целесообразно использовать именно ультразвуковой метод, который минимально воздействует на экосистему в целом и подавляет развитие цианобактерий.

Авторы благодарны д. г. н. проф. В. А. Даувальтеру и руководителю лаборатории гидрохимии ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН к. г. н. Н. В. Игнатьевой за продуктивное обсуждение рукописи, а также признательны О. В. Дерусовой за подготовку рисунка к рукописи.

## Литература

Алекин О. А., Драбкова В. Г., Коплан-Дикс И. С. Проблема эвтрофирования континентальных вод // Антропогенное эвтрофирование природных вод. Т. 1. Черноголовка, 1985. С. 25–34.

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Белых О. И., Гладких А. С., Сороковикова Е. Г., Тихонова И. В., Потапов С. А., Федорова Г. А. Микроцистин-продуцирующие цианобактерии в водоемах России, Беларуси и Украины // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 21. С. 363–378.

Геринг Д. Д. Роль азота в эвтрофических процессах // Микробиология загрязненных вод. М.: Медицина, 1976. С. 48–68.

Гусаков Б. Л. Критическая концентрация фосфора в озерном притоке и ее связь с трофическим уровнем водоема // Элементы круговорота фосфора в водоемах. Л.: Наука, 1987. С. 7–17.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Дис. ... докт. хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 р.

Лудупова Е. Ю., Сергеева Л. А., Гыргешкина Н. Г., Олоева Э. В., Бадмаева В. Я., Будашеева А. Б. Случай возникновения гаффской болезни (алиментарно-токсической пароксизмальной миоглобинурии) в Республике Бурятия в селах Прибайкальского района, расположенных у озера Котокель // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2009. № 3(67). С. 92–94.

Назарова Л. Е. Современное состояние и изменчивость климата на водосборах Онежского озера и Выгозерско-Ондского водохранилища // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 10–19.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552).

Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Румянцев А. В., Рыбакин В. Н., Рудский И. В., Павлова О. А., Капустина Л. Л., Митрукова Г. Г., Коровин А. Н. Проблема регуляции токсигенного цветения пресноводных водоемов // Водные ресурсы. 2022. Т. 49, № 2. С. 238–248. doi: 10.31857/S0321059622020134

Савенко В. С., Савенко А. В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. М.: ГЕОС, 2007. 248 с.

Sayer C. N. Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage // Journal of New Water Lakes Association. 1947. Vol. 51. P. 109–127.

## References

Alekin O. A., Drabkova V. G., Koplan-Diks I. S. The problem of eutrophication of continental waters. *Antropogennoe evtrofirovanie prirodnyh vod = Anthropogenic eutrophication of natural waters*. Vol. 1. Chernogolovka; 1985. P. 25–34. (In Russ.)

Belykh O. I., Gladkikh A. S., Sorokovikova E. G., Tikhonova I. V., Potapov S. A., Fedorova G. A. Microcystin-producing cyanobacteria in water reservoirs of Russia, Belarus and Ukraine. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*. 2013;21:363–378. (In Russ.)

Filatov N. N., Kukharev V. I. (eds.). Lakes of Karelia. A reference book. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2013. 464 p. (In Russ.)

Gering D. D. The role of nitrogen in eutrophic processes. *Mikrobiologiya zagryaznennykh vod = Microbiology of polluted waters*. Moscow: Meditsina; 1976. P. 48–68. (In Russ.)

Gusakov B. L. The critical concentration of phosphorus in the lake tributary and its relationship with the trophic level of the reservoir. *Elementy krugovorota fosfora v vodoemakh = Elements of the phosphorus cycle in water bodies*. Leningrad: Nauka; 1987. P. 7–17. (In Russ.)

Lozovik P. A., Efremenko N. A. Analytical, kinetic and computational methods in hydrochemical practice. St. Petersburg: Nestor-Istoriya; 2017. 272 p. (In Russ.)

Lozovik P. A. Hydrogeochemical criteria of the surface water state in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact: DSc (Dr. of Chem.) thesis. Petrozavodsk; 2006. 481 p. (In Russ.)

Ludupova E. Yu., Sergeeva L. A., Gyrgeshkino-va N. G., Oloeva E. V., Badmaeva V. Ya., Budasheeva A. B. A case of haff disease (alimentary toxic paroxysmal myoglobinuria) in Buryat Republic in villages of Baikal Region near the Kotokel. *Byull. VSNC SO RAMN = Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2009;3(67):92–94. (In Russ.)

Nazarova L. E. Current state and climate variability in the catchments of Lake Onega and the Vygozero-Onda

reservoir. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs of the North-West of the European territory of Russia: Current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic impacts*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. P. 10–19. (In Russ.)

Rumyantsev V. A., Rybakin V. N., Rudsky I. V., Pavlova O. A., Kapustina L. L., Mitrukova G. G., Korovin A. N. The problem of regulation of toxigenic blooming in freshwater bodies. *Water Resources*. 2022;49(2):311–320. doi: 10.1134/S0097807822020129 (In Russ.)

Savenko V. S., Savenko A. V. Phosphorus geochemistry in the global hydrological cycle. Moscow: GEOS; 2007. 248 p. (In Russ.)

Sayer C. N. Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. *Journal of New Water Lakes Association*. 1947;51:109–127.

Water quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies. Approved by Order of the Ministry of Agriculture of Russia, dated December 13, 2016. No. 552. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 31.10.2022; принята к публикации / accepted: 08.11.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

##### **Сабылина Альбина Васильевна**

канд. хим. наук, старший научный сотрудник

e-mail: tanyusha\_ptz@mail.ru

##### **Ефремова Татьяна Алексеевна**

младший научный сотрудник

e-mail: efremova.nwpi@mail.ru

#### **CONTRIBUTORS:**

##### **Sabylina, Albina**

Cand. Sci. (Chem.), Senior Researcher

##### **Efremova, Tatyana**

Junior Researcher

УДК 631.4+556.5

## ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ РОСТОВСКОЙ НИЗИНЫ (ЯРОСЛАВСКОЕ ПОВОЛЖЬЕ): СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАСОЛЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Ю. В. Симонова\*, А. В. Русаков, Н. А. Лемешко

Санкт-Петербургский государственный университет (Университетская  
набережная, 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034), \*uvsim@yandex.ru

Гидрохимический состав воды оз. Неро и его притоков тесно связан с формированием почвенно-грунтового комплекса окружающих ландшафтов. В настоящей статье представлена характеристика современного состояния засоленных почв низких террас озера. В среднем содержание солей в почвах, исследованных в 2016–2018 гг., находилось в интервале от 0,2 до 0,3 %. Засоление почв в пределах слабодренируемой приозерной части Ростовской низины приурочено к плоским обводненным или пониженным заболоченным участкам. Источником засоления, совершенно не характерного для гумидного климата Ярославского Поволжья, являются грунтовые воды (ГВ) с минерализацией свыше 1,0 г/л. Солончатость ГВ определяется гидрогеологическими особенностями территории и положением озерной депрессии в рельефе как базиса аккумуляции солей. В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , тогда как более миграционно активные  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ , вымываясь из почвенного профиля, оказываются в гидрографической сети. Установлено, что ряд притоков оз. Неро отличаются высокой минерализацией (более 500 мг/л) и заметным участием  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  в макрокомпонентном составе. Среди них особенно выделялись реки Мазиха, Ишня, Кучебешь, Сула. Величина минерализации воды оз. Неро значительно менялась в течение года, а в его макрокомпонентном составе неоднократно отмечено увеличение вклада  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$ . Сравнительная оценка современных засоленных почв Ростовской низины и их аналогов, обследованных 30–40 лет назад, выявила тенденцию снижения уровня засоления. Содержание карбонатов гидрогенного происхождения и зольность торфяных засоленных почв, напротив, за это время увеличились. В качестве основной гипотезы трансформации почв, произошедшей за последние 30–40 лет, рассматриваются изменения климата. Засоленные почвы являются чувствительными компонентами озерного ландшафта и могут служить индикаторами изменения условий окружающей среды.

Ключевые слова: озеро Неро; грунтовые воды; р. Ишня; р. Мазиха; минерализация; гидроморфные почвы.

Для цитирования: Симонова Ю. В., Русаков А. В., Лемешко Н. А. Засоленные почвы Ростовской низины (Ярославское Поволжье): современное состояние, гидрологические аспекты засоления и эволюционные тренды на фоне климатических изменений // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 31–49. doi: 10.17076/eco1713

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-29-05243. Измерения содержания натрия и калия выполнены в РЦ «Методы анализа состава вещества» СПбГУ (проект № 108-8100).

**Yu. V. Simonova\*, A. V. Rusakov, N. A. Lemeshko. SALINE SOILS OF THE ROSTOV LOWLAND (YAROSLAVL VOLGA REGION): CURRENT STATE, HYDROLOGICAL ASPECTS OF SALINIZATION AND EVOLUTION TRENDS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE**

*Saint Petersburg State University (7-9 Universitetskaya Nab., 199034 St. Petersburg, Russia), \*uvsim@yandex.ru*

The hydrochemical composition of Lake Nero and its tributary streams is closely related to the soils in the catchment. This paper describes the current state of saline soils on the lakeside lower terraces. On average, the salinity of the soils surveyed in 2016–2018 ranged from 0.2 to 0.3 %. Soil salinization within the poorly drained lakeside part of the Rostov Lowland is confined to flat or low-lying waterlogged areas. The source of the salinity, which is completely uncommon for the humid climate of the Yaroslavl Volga region, is groundwater with a TDS content of more than 1.0 g/l. The brackish groundwater is a result of the hydrogeological features of the territory and the topographic position of the basin as the base level of salt accumulation. The soils exhibit a noticeable tendency for relative accumulation of  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Ca}^{2+}$ , while the more migration-active  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  get washed out of the soil profile into the watercourses of the nearest hydrographic network. Some tributaries to Lake Nero showed a high TDS content (over 500 mg/l) and a significant share of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  among macro-components. Such were rivers Mazikha, Ishnya, Kuchebesh', and Sula. Lake Nero water TDS content varied significantly during the year and the contributions of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , and  $\text{Na}^+$  to its macro-component composition showed several rises. Compared to similar soils surveyed 30–40 years ago, saline soils of the Rostov Lowland exhibit a downward trend in salinity. The content of carbonates of hydrogenous origin and the ash content of peat soils, on the contrary, increased over this time period. Climate change is hypothesized as the main cause of the soil transformation over the past 30–40 years. Saline soils are sensitive components of the lakeside landscape and can serve as indicators of changes in environmental conditions.

Keywords: Lake Nero; groundwater; Ishnya River; Mazikha River; TDS content; waterlogged soils

For citation: Simonova Yu. V., Rusakov A. V., Lemeshko N. A. Saline soils of the Rostov Lowland (Yaroslavl Volga region): current state, hydrological aspects of salinization and evolution trends in the context of climate change. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 31–49. doi: 10.17076/eco1713

Funding. The study was supported by RFBR grant #19-29-05243. Sodium and potassium content measurements were performed at the St. Petersburg State University's "Chemical Analysis and Materials" Resource Center (project No. 108-8100).

## Введение

Многолетние комплексные гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования оз. Неро (Ярославское Поволжье) выполняются сотрудниками ИБВВ РАН и ЯрГУ [Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008; Литвинов, 2017; Sigareva et al., 2019; Законнов и др., 2020 и многие другие]. Донные осадки озера были подробно охарактеризованы лабораторией сапропелевых отложений Института леса АН СССР, что позволило выстроить их биостратиграфию [Труды..., 1956].

Изучение донных отложений и террас с целью палеогеографической реконструкции истории развития озера проводится в Институте географии РАН [Константинов и др., 2019; Ukraintsev et al., 2020; Лазукова и др., 2021]. Однако причина повышенной минерализации и своеобразного (из-за повышенного количества  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ ) химического состава воды оз. Неро остается выясненной не до конца.

В качестве наиболее вероятного варианта специфического состава вод озера высказывается предположение о заметном количестве растворимых солей, приносимых с водами



притоков, дренирующих поверхности приозерной котловины, почвенный покров которых представлен «солонцами», «солончаками», «усолами» [Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003; Литвинов, 2017]. Среди наиболее соленых выделяются воды крупных притоков ЮЗ части озера – р. Ишня и Кучебешь [Крайнер, Студенов, 1959; Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008]. Таким образом, возникает необходимость рассмотрения процесса засоления с точки зрения подхода, подразумевающего установление взаимосвязи между формированием химического состава грунтовых вод (ГВ), почв, поверхностных водотоков.

Влияющие на состав воды притоков и самого оз. Неро ареалы засоленных почв представляют интерес не только для лимнологов, но и для почвоведов, поскольку существование таких почв не укладывается в рамки общепринятых почвенно-географических закономерностей. Влажный умеренно континентальный климат Ярославского Поволжья обеспечивает промывной водный режим дренированных поверхностей водоразделов, способствуя развитию почв подзолистого типа. В пониженных элементах рельефа гумидных внутриконтинентальных территорий почвы подвергаются гидроморфизму и заболачиванию, но никак не засолению.

В гидрографическом плане изучаемая территория принадлежит бассейну Верхней Волги, а само оз. Неро является одним из самых крупных водоемов Ярославского Поволжья. Площадь водосборного бассейна составляет 1170 км<sup>2</sup>, водного зеркала – около 58 км<sup>2</sup> [Литвинов, 2022]. Озеро является проточным, принимающим более 20 притоков, самый крупный из которых р. Сара. Вытекает из озера р. Векса, которая, соединяясь с р. Устье, переходит в р. Которосль, правый приток Волги.

Оз. Неро расположено в южной части Ростовской низины, которая приурочена к территории приозерной котловины. Основной водосборной площадью оз. Неро является Борисоглебская возвышенность, примыкающая к Ростовской низине с запада и юга [Рохмистров, 1968].

Озеро Неро – ледникового происхождения, образовалось около 150 тыс. лет назад, во время последнего межледниковья [Алешинская, Гунова, 1997]. Сама приозерная котловина (Ростовская впадина) площадью около 750 км<sup>2</sup> [Фортунатов, Московский, 1970] возникла в результате тектонических движений в нижнем мелу, испытывая дальнейшее погружение за счет интенсивных эрозионных процессов. В четвертичное время рельеф района развивал-

ся унаследованно, но плейстоценовые ледники в значительной степени изменили его своей эрозионной и эрозионно-аккумулятивной деятельностью [Новский, 1971].

Современная поверхность котловины представляет собой слабовсхолмленную озерно-ледниковую равнину со слабым уклоном и абсолютными отметками 93–110 м. В рельефе котловины выражены три террасы, образование которых связано с колебаниями оз. Неро; со всех сторон котловина отделена уступом [Матинян и др., 1996].

В позднемосковское время на месте гляцио-депрессии появилось обширное ледниковое озеро, представляющее собой глубокий ультраолиготрофный водоем, занимающий всю впадину [Москвитин, 1967; Гунова, 1975; Алешинская, Гунова, 1998]. В это время сформировались ленточные глины, выстилающие днище водоема, уровень озера был высоким, климатические условия – суровыми [Гунова, 1975]. В микулинский межледниковый период с теплым климатом уровень озера понижается. Активизируется глубинная эрозия, способствующая росту речной сети и расширению озерной и флювиогляциальной равнин. Оз. Неро в это время является проточным водоемом с уровнем, близким к современному [Новский, 1971].

С началом валдайской ледниковой эпохи, во время которой территория находилась в перигляциальной зоне оледенения, уровень озера поднимается до отметок 107–110 м, а само озеро представляет собой олиготрофный водоем. В средневалдайское время с улучшением климатических условий происходит снижение уровня озера и заканчивается формирование 2-й террасы. К средневалдайскому интервалу приурочено две регрессии озера. В поздневалдайское время возможно несколько подъемов уровня озера за счет притока талых вод. С наступлением наиболее теплых периодов (беллинг, аллеред) происходит постепенный спад уровня озера и заканчивается формирование 1-й террасы. Площадь озера значительно уменьшается, уровень достигает абс. отметки 100 м [Гунова, 1975].

В голоцене для котловины оз. Неро отмечается несколько небольших по продолжительности ритмов обводнения и обмеления. В это время в озере накапливаются карбонатные и торфянистые сапропели. Современные данные изучения донных отложений и террас озера [Константинов и др., 2019; Ukraintsev et al., 2020] говорят о падении его уровня в первой половине голоцена до отметки ниже современной, за которым в начале атлантического периода последовала трансгрессия. В целом голоцено-

вый период характеризуется усилением эвтрофикации и мелководности озера [Алешинская, 1973; Лазукова и др., 2021].

Проблематика засоления приозерного ландшафта за всю историю изучения неоднократно поднималась в различных практических аспектах, наиболее значимым из которых является сельскохозяйственное использование [Симонова, Русаков, 2017]. Территория котловины оз. Неро исторически интенсивно осваивалась, чему способствовало выгодное географическое положение и специфика почвенного покрова [Бардин, 1938]. Наличие высокоплодородных темноцветных почв в приозерной котловине составило основу высокопроизводительного «ростовского огородничества» [Барышева, 1953]. В приозерном районе население занималось почти исключительно разведением овощей, не высевая полевых культур. Огороднический промысел здесь превратился в древнейшее в России искусство, широко известное за пределами губернии [Кичунов, 1911]. Вплоть до 1990-х гг. сельское хозяйство играло доминирующую роль в экономике Ростовского района.

Темноцветные приозерные почвы, обладающие высоким уровнем потенциального плодородия (так называемые «ростовские черноземы») и представляющие большую ценность для сельского хозяйства, формировались под воздействием длительного окультуривания [Чижиков, 1956]. Сопряжение в литолого-геоморфологическом отношении «ростовских черноземов» с морфологически неотделимыми от них, но отличающимися низким плодородием «усолами» давно привлекало внимание [Бернштейн, 1903, 1915]. В комбинациях темноцветных и «усолистых» почв последние занимали подчиненное положение, имея ограниченное распространение в виде пятен и полос [Великанов, 1957], поэтому при почвенном районировании Ярославской области котловина была выделена как ростовский приозерный подрайон темноцветных заболоченных и солончаковых почв [География..., 1972].

С момента первого изучения приозерных почв, когда развитие засоления в котловине имело тенденцию «расползающегося солончака» [Флеров, 1903], прошло уже более 100 лет. Проведенные за это время мероприятия по мелиорации могли коренным образом изменить ситуацию и способствовать рассолению почв.

В то же самое время, начиная с 1970-х гг., в большинстве регионов европейской территории России наметился устойчивый тренд потепления [IPCC..., 2014; Национальный..., 2019], которому сопутствовали изменения гидро-

логического режима [Оки, Канае, 2006]. Так, в последние десятилетия в бассейне Верхней Волги замечены сдвиги в ледовом режиме рек и озер, увеличение зимнего притока, рост количества осадков на зеркало водоемов, колебания уровня воды в реках и озерах, что нашло отражение в изменении гидрологических характеристик, показателей развития фито- и зоопланктона, макрофитов [Лазарева, Соколова, 2013; Литвинов, Законнова, 2014; Законнова, Литвинов, 2016; Babanazarova et al., 2018]. Изменения температуры, а также связанные с ними гидрологические изменения запускают механизмы трансформации не только структуры водных сообществ и экосистем, но и современного растительного и почвенного покрова водосборов.

Цели настоящего исследования: 1) охарактеризовать современное состояние засоленных почв; 2) выяснить роль почв в засолении озерных ландшафтов; 3) выявить средневременные (за последние 30–40 лет) тренды их эволюционных изменений.

## Материалы и методы

### *Территория и объекты исследования*

В настоящей работе проводились исследования химического состава вод оз. Неро и его основных притоков. Выполнялись анализы ГВ и почв, залегающих в гидроморфных и полугидроморфных позициях на 1-й и 2-й террасах озерной котловины.

Исследования химического состава воды оз. Неро проводились в период 2017–2019 гг. Точка регулярного отбора проб воды оз. Неро находилась в СЗ части озера (точка 1 на рис. 1); однократно отбиралась проба со стороны с. Угодичи (точка 8 на рис. 1). Отбор проб воды речной сети бассейна проводился в начале мая в 2018 г. Расположение мест отбора проб с указанием границ речных бассейнов представлено на схеме (рис. 1).

Исследования химического состава ГВ низких террас котловины выполнены нами в июне 2017 г. Пробы почв отбирались в полевые сезоны 2016–2018 гг. (сентябрь 2016 г., июнь 2017 г., июль–август 2018 г.). Точки отбора проб ГВ и мест заложения почвенных разрезов указаны на рис. 2.

Четвертичные отложения водосборного бассейна представлены разнообразием генетических типов, а террасы оз. Неро в районе наших исследований сложены породами озерного генезиса в основном суглинистого и супесчаного состава.

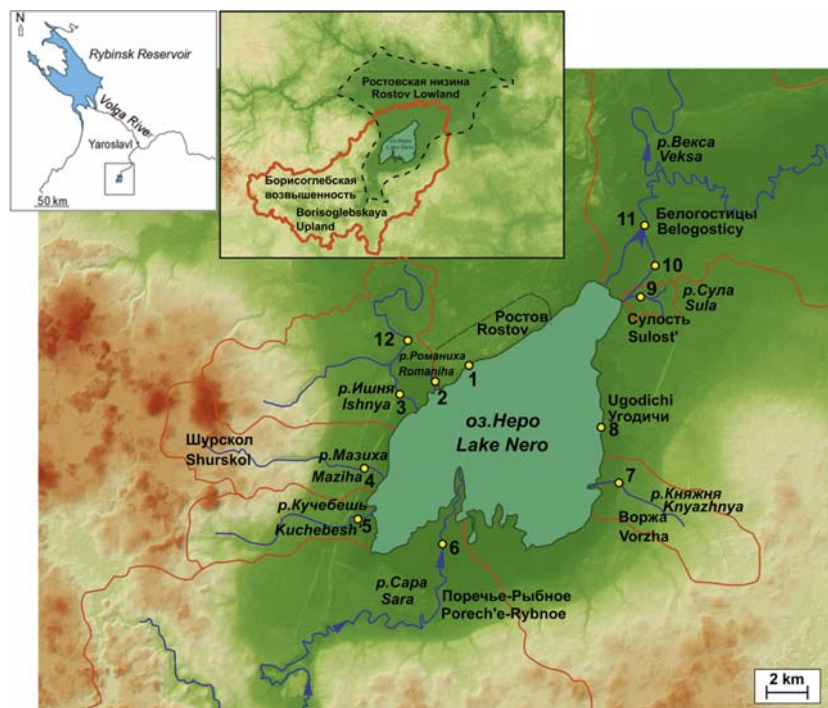


Рис. 1. Местоположение района исследований и карта-схема отбора проб воды. Точками обозначены места отбора проб, сплошной красной линией – границы водосборной площади оз. Неро и его притоков, пунктирной линией – границы озера в период отступления московского ледника [по: Гунова, 1975]

Fig. 1. The study area and sampling points of surface waters. The dots indicate the sampling sites, the solid red line – the boundaries of the catchment area of Lake Nero and its tributaries, and the dotted line – the lake boundaries at the end of the Moscow glaciation [after: Gunova, 1975]

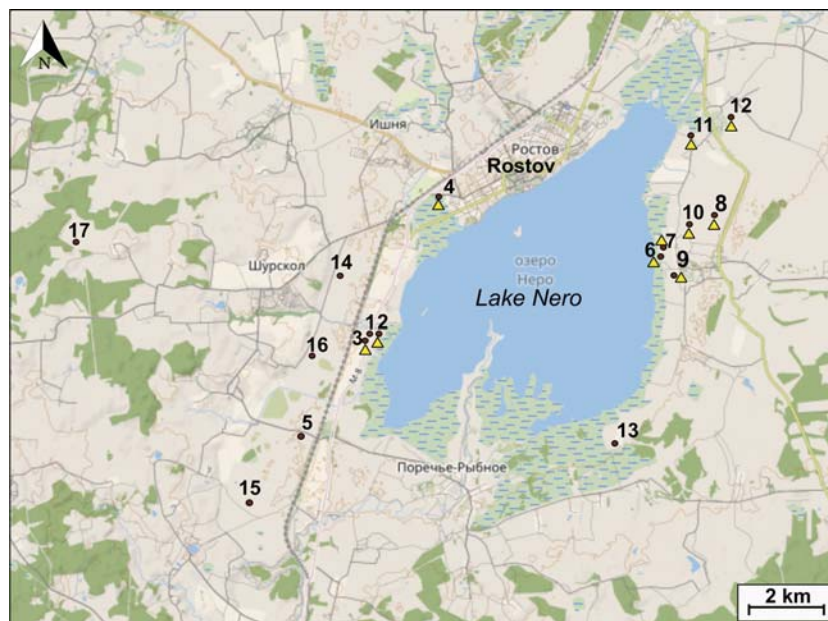


Рис. 2. Карта-схема отбора проб грунтовых вод и почв. Точками отмечены места закладки почвенных разрезов, треугольниками – места отбора проб грунтовых вод. Использован снимок с ресурса OpenStreet Map

Fig. 2. The sampling sites of shallow groundwater and soils. The dots indicate the locations of the soil pits, the triangles – the locations of groundwater sampling. The image was taken from OpenStreet Map

Территория исследования находится в зоне дерново-подзолистых почв южной тайги. Однако приозерный район отличается практически полным отсутствием лесов. Среди видов растений засоленных лугов немало занесенных в Красную книгу Ярославской области (*Juncus gerardii* Loisel, *Ostericum palustre* Bess., *Scirpus tabernaemontani* C. C. Gmel., *Triglochin maritimum* L.).

#### Методы исследования

Отбор проб почвы проводили из разрезов с зачищенной стенки после морфологического описания профиля. Усредненные пробы отбирали послойно в пределах каждого генетического горизонта и помещали в полиэтиленовые пакеты. Образцы почв, высушенные до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 и 0,25 мм.

Пробы ГВ, вскрытых при откапывании почвенных разрезов, отбирали в пластиковые бутылки. Хранение проб предусматривалось в холодильнике. Фильтрат проб воды, предназначенный для определения катионов, для увеличения срока хранения подкислялся азотной кислотой.

Определение карбонатной щелочности и гидрокарбонат-ионов выполняли титриметрическим методом по: [ГОСТ 31957-2012] с потенциометрическим фиксированием конечной точки титрования (до pH 5,4 и 4,5 соответственно). Содержание  $\text{Cl}^-$  определяли аргентометрическим методом,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – трилонометрическим,  $\text{SO}_4^{2-}$  – весовым,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICPE-9000. Измерение pH выполняли pH-метром Hanna Instruments. Анализ проб поверхностных и грунтовых вод на показатели карбонатной щелочности, гидрокарбонат-ионов и pH проводили на месте отбора.

Для оценки степени засоления почв рассчитывалась общая сумма солей (Собщ) и сумма токсичных солей (Стокс), перешедших в водную вытяжку [Базилевич, Панкова, 1972; Воробьева, 1998; FAO..., 2018]. Водная вытяжка почв готовилась при соотношении почвы к воде равном 1 : 5. Дополнительно определялась электропроводность водной вытяжки почв (ЕС 2,5) при соотношении почвы к воде 1 : 2,5 [FAO..., 2006]. Содержание карбонатов определялось гравиметрическим методом после обработки 5 М HCl. Массовая доля зольности торфяных почв определялась путем прокаливании при температуре 525 °С.

Для выявления трендов эволюционных изменений сравнивались почвы двух периодов обследования. В первый период (1984–1991 гг.) почвенные образцы засоленных почв отобраны во время крупномасштабного картографирования Ростовской низины. Второй период относился к современному обследованию почв (2016–2018 гг.). Архивные и современные образцы были проанализированы в 2019 г. Для анализа сравниваемых почвенных образцов применялись одни и те же методы, методики и приборы.

Для оценки статистических различий сравниваемых показателей почвенных свойств применялся непараметрический критерий Уилкоксона для связанных выборок. Степень взаимосвязи макрокомпонентов химического состава природных вод оценивалась с помощью коэффициента Спирмена (R) для ранговой корреляции при 5% уровне значимости ( $p < 0,05$ ). Вычисления проводили в статистических пакетах RStudio [R Core Team..., 2021].

#### Результаты и обсуждение

##### *История формирования почв исследуемой территории*

Формирование почвенного покрова исследуемой территории и его голоценовая эволюция связаны с трансгрессивно-регрессивным ритмом колебаний оз. Неро и уровня ГВ [Матинян и др., 1996]. Начало почвообразования Ростовской низины стало возможным после полного отступления валдайского ледника. За время позднего плейстоцена и голоцена наблюдается устойчивый тренд снижения уровня воды и обмеления оз. Неро, в результате которого дневная поверхность высвобождается для почвообразования.

В атлантический период голоцена климат характеризуется как теплый и влажный [Гунова, 1975]. В это время на более высоких элементах рельефа в пределах 1-й и 2-й террас озера формировались автоморфные и поверхностно-глееватые текстурно-дифференцированные почвы [Русаков, 1993]. На слабодренированных поверхностях в пределах низких плоских повышений образовывались дерновые заболоченные и болотные низинные почвы. На фоне резкого обмеления озера в конце атлантического периода происходит значительное снижение уровня местных базисов эрозии и углубление вреза овражно-балочной сети, что приводит к выносу материала склонов к бортам террас и погребению низинных торфяников [Русаков, 1993].

Основываясь на результатах радиоуглеродного датирования, А. Л. Александровский [2011] вторые гумусовые горизонты (ВГГ) палеопочв окрестностей оз. Неро относит к среднему голоцену. Точнее, образование ВГГ происходит поэтапно: в атлантический период и периоды более сухого климата бореально-го и суббореального времени (10–3,7 тыс. лет назад). При этом в темноцветную стадию почвообразования господствуют условия лесостепи. В лесную стадию педогенеза (последние 3,7 тыс. лет) в условиях более влажного и холодного климата происходит деградация ВГГ, вплоть до полного их исчезновения, и одновременно усиливается текстурная дифференциация почв. Так, в начале суббореального периода в результате трансгрессии оз. Неро темноцветные почвы оказались частично затоплены. В зоне подтопления темноцветная стадия сменилась луговой с формированием дерново-глеевых почв, а выше отметок 97 м – лесной (дерново-подзолистые почвы) [Александровский, 2011]. В это время в озере прекращается накопление карбонатных осадков и начинает откладываться торфянистый материал [Гунова, 1975].

На этапе позднего голоцена важную роль в истории формирования почв котловины играет антропогенный фактор. Изучаемая территория становится древнейшим очагом интенсивного земледелия [Бардин, 1938]. При этом распашка земель происходит на фоне сокращения площадей под лесом. В итоге на начало XX века распаханность территории Ростовской низины составляет около 70 %, площадь лесов – менее 5–8 % [Печенин, 1928]. Площади, занятые лесами, в основном вторичного происхождения, располагаются уже только по периферии бассейна оз. Неро. Возделывание на территории овощных и пропашных культур и сведение лесов приводит к развитию эрозионных процессов [Матинян и др., 1996].

В это время наибольший интерес среди почв приозерной котловины представляют темноцветные почвы, распространенные на луговой террасе озера и на пологом склоне от надлуговой террасы в сторону озера («ростовские черноземы»), и засоленные почвы («усолы») [Чижиков, 1956]. По мнению В. В. Докучаева, «ростовские черноземы» и «усолы» имеют болотное происхождение, а их внешнее сходство со степными черноземами достигается высокой и многолетней культурой земледелия [Докучаев, 1883]. Б. Л. Бернштейн [1915], составляя классификацию ростовских почв, объединяет их в самостоятельную родовую группу – почвы иловато-болотного типа, местами

обогащенные солями, подчеркивая тем самым общность их гидроморфного происхождения.

#### *Характеристика современного состояния засоленных почв*

В ходе экспедиций 2016–2018 гг. нами были заложены почвенные разрезы на местах, указанных в литературе [Бернштейн, 1903, 1915], а также отмеченных как засоленные при проведении крупномасштабного картографирования отдельных крупных совхозов на территории Ростовской низины в 1980-х гг., выполненного кафедрой почвоведения СПбГУ совместно со специалистами Росгипрозема. Для оценки современного состояния засоления почв котловины были проанализированы 17 почвенных разрезов, местоположение которых указано на схеме (рис. 2).

В среднем содержание легкорастворимых солей в исследованных нами почвах находилось в интервале от 0,20 до 0,30 %. Однако встречались варианты, обладающие более высоким уровнем засоления (табл. 1). Например, в почвах луговой террасы в районе п. Львы и с. Угодичи содержание солей составило 2,43 и 0,56 % (точки 2 и 6 на рис. 2). Почвы с содержанием солей 0,46 % выявлены в пределах заболоченного луга вблизи устья р. Романихи, где в настоящее время организованы карты намыва для складирования добытого из озера сапропеля (точка 4 на рис. 2).

В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления в составе легкорастворимых солей  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ , тогда как самые миграционно активные  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ , вымываясь из почвенного профиля в фазы повышенной водности, оказываются в водотоках ближайшей гидрографической сети, что определяет значимость буферной способности почв для качества поверхностных вод района исследований. Особенно большое значение в снижении возможных концентраций растворенных солей, попадающих в водотоки, имеют почвы луговой террасы озера, принимающие на себя основную долю нагрузки ионного стока.

В отличие от подходов, применяемых 100 лет назад, сегодня степень засоления принято устанавливать по показателю Стокс, который может значимо отличаться от общего количества солей  $\text{С}_{\text{общ}}$ , переходящих в водную вытяжку [Засоленные..., 2006]. По величине Стокс из 17 изученных разрезов в двух почвах имели сильную степень засоления, в пяти – среднюю, еще в пяти – слабую и еще пять были отнесены к незасоленным разностям.

Наиболее тесные значимые корреляции  $\text{С}_{\text{общ}}$  ( $R > 0,70$ ) установлены с  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Ca}^{2+}$ ,



Таблица 1. Данные анализа водной вытяжки некоторых разрезов засоленных почв

Table 1. Data on soil-water extracts of 1 : 5 of some salt-affected soils

Глубина, см Depth, cm	pH	Сух. ост. TDS	Общ. щел. Alcalinity	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Собщ Stot	Стокс Stox
		смоль(экв)/кг cmol(eq)/kg									%
Точка 2 на рис. 2. Классификационное положение почвы: Темногумусово-глеевая перегнойно-гумусовая засоленная легкосуглинистая на озерных отложениях. Химизм засоления: Cl-SO <sub>4</sub> с гипсом. Степень засоления: сильная.											
No 2 in Fig. 2. Taxonomic designations: <i>Mollic Reductigleyic Gleysol (Salic, Loamic)</i> . Chemical type: Cl-SO <sub>4</sub> with gypsum. Salinity grade: high.											
0–10	6,2	2,71	0,07	1,79	34,36	25,02	8,94	4,44	0,04	2,43	0,73
10–20	6,2	1,60	0,04	0,86	20,07	14,67	5,82	0,48	0,02	1,37	0,37
20–35	6,3	0,30	0,63	0,63	5,60	2,11	2,11	2,64	0,03	0,46	0,31
35–45	6,7	1,61	0,22	1,95	23,52	14,08	5,42	7,21	0,03	1,72	0,76
45–60	6,4	1,59	0,21	1,07	19,72	12,86	5,36	2,79	0,01	1,38	0,51
60–80	6,7	1,33	0,54	0,54	16,67	11,78	0,65	5,31	0,01	1,22	0,41
80–90	6,7	0,21	0,61	0,61	3,12	2,44	0,61	1,28	0,01	0,29	0,12
90–100	6,2	0,23	0,65	0,43	3,12	2,81	0,65	0,76	0,01	0,29	0,09
Точка 10 на рис. 2. Классификационное положение почвы: Темногумусовая глееватая засоленная постагрогенная тяжело-суглинистая на озерных глинах. Химизм засоления: Cl-SO <sub>4</sub> с участием соды. Степень засоления: средняя.											
No 10 in Fig. 2. Taxonomic designations: <i>Chernic Gleyic Umbrisol (Salic, Clayic, Anoarc)</i> . Chemical type: Cl-SO <sub>4</sub> with sodium carbonate. Salinity grade: moderate.											
0–10	7,9	0,38	1,05	1,05	3,02	0,79	0,00	4,33	0,03	0,36	0,30
10–20	7,9	0,40	0,84	0,21	4,04	0,74	0,00	4,36	0,02	0,37	0,31
25–35	7,8	0,22	0,93	0,63	0,89	0,53	0,00	1,93	0,04	0,18	0,14
35–45	7,7	0,22	0,42	0,63	1,83	0,26	0,00	2,61	0,04	0,20	0,18

значимые корреляции средней силы ( $0,70 > R > 0,60$ ) – с Na<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. Высокая корреляционная взаимосвязь Стокс ( $R > 0,70$ ) выявлена с SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и Na<sup>+</sup> (рис. 3).

Чаще всего исследованные почвы имели хлоридно-сульфатный, реже сульфатно-хлоридный и хлоридный вид засоления. В почвах средней и сильной степени засоления в химизме отмечено участие соды и гипса. По положению верхней границы солевого горизонта в соответствии с классификацией почв России [Классификация..., 2004] почвы отнесены к виду солончаковых.

Величина pH изученных почв покрывала широкий диапазон от слабокислых до щелочных разностей, но большинство из них относились к нейтральным и слабощелочным. Повышенные значения pH часто связаны с наличием карбонатов. В минеральных почвах низких террас и торфяных почвах, занимающих понижения 2-й террасы, карбонаты имеют гидрогенное происхождение. Морфологически карбонаты представлены либо дисперсной формой, либо, если осаждение происходит более интенсивно, – в виде прослоев «луговой извести» (гажи). Особенно выражено карбонатонакопление в органогенных почвах, где они образуют гажевые горизонты, подстилающие торфяную толщу. В горизонтах гажы содержание карбонатов

может достигать 80–90 %. Известно, что формирование гажы определяется рядом условий, среди которых выходы на поверхность напорных подземных вод, обогащенных растворами карбонатов, при наличии в современном релье-

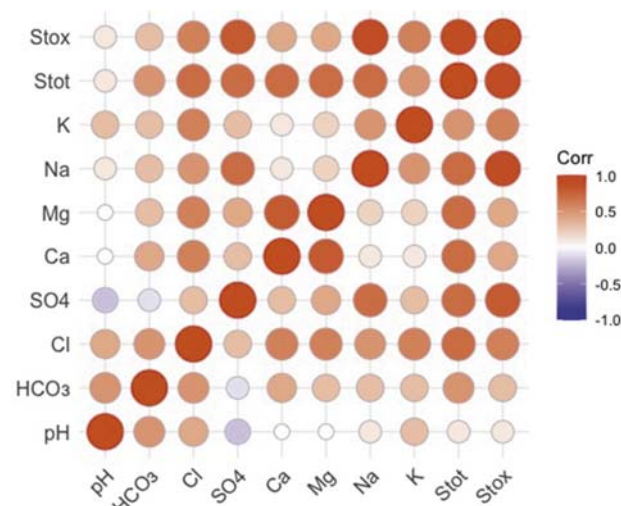


Рис. 3. Матрица корреляций химического состава водной вытяжки почв. Крупными кружками обозначены значимые корреляции

Fig. 3. Correlation matrix for the chemical composition of the soil-water extracts. The large circles indicate significant correlations

ефе понижений, способствующих застою вод [Бартош, 1976].

Согласно классификации почв России [Классификация..., 2004], изученные почвы входят в отделы органо-аккумулятивных, глеевых и торфяных почв и отнесены к темногумусово-глеевым и темногумусовым глееватым почвам, а также к торфоземам. Засоление в них проявляется на уровне признака.

Почвы имеют пятнистый характер распространения без заметной доли в структуре современного почвенного покрова. В пределах выположенной территории приозерной части котловины такие пятна приурочены к микропонижениям рельефа с близким к поверхности уровнем ГВ.

Важным моментом функционирования рассмотренных засоленных почв является то, что их солевой режим быстро отражает смену гидротермических условий в течение года, чувствительно реагируя на изменение соотношения увлажнения территории и испарения. В периоды усиления атмосферного увлажнения (весна, осень) содержание солей в почвах снижается, тогда как в сухие сезоны, напротив, увеличивается. Таким образом, значимость процессов галоморфизма усиливается и ослабляется в зависимости от фазы водности в период наблюдений.

*Детализация вопроса о генезисе засоления озерных ландшафтов, подтверждаемая гидрохимическими исследованиями*

Появление такого компонента, как засоленные почвы, в структуре почвенного покрова исследованной территории обязано характеру рельефа Ростовской низины, определившему предпосылки развития гидроморфных и полугидроморфных почв, и специфике ГВ.

Изучение режима подземных вод, выполненное Гипроводхозом в начале 1980-х гг., показало, что ГВ приозерной котловины по условиям питания атмосферными осадками относятся к сезонному типу. Максимальные уровни их подъемов соответствуют наибольшему количеству выпавших осадков и периоду интенсивного снеготаяния (апрель). Амплитуда колебаний между зимним минимумом и весенним максимумом составляет 0,1–1,5 м, между весенним максимумом и летним минимумом – 0,2–0,7 м. Питание ГВ в районе исследования осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, притока со стороны окружающих склонов, а также за счет разгрузки нижележащих водоносных горизонтов. При наличии гидростатического напора высокоминерализованные воды из более глубоких водоносных горизонтов, заключенных в отложениях пермско-триассового возраста, обеспечивают подпитку горизонтов ГВ [Гидрогеология..., 1966; Рохмистров, 1968].

Водовмещающими породами низких террас являются озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения, местами перекрытые торфом и сапропелем. В ряде случаев (в зависимости от строения водовмещающей толщи) ГВ приобретают незначительный напор.

Уклон поверхности зеркала ГВ на низких террасах очень слабый, а в части, непосредственно прилегающей к оз. Неро, почти отсутствует. В пределах 1-й террасы озера уровень ГВ редко находился ниже 1,0 м от поверхности. В почвах, развитых на суглинистых отложениях или при подстилании ими, создаются условия для замедленной инфильтрации осадков, что приводит к образованию верховодки. В момент своего наивысшего стояния ГВ смыкаются с верховодкой и могут достигать поверхности. В таких случаях заболачивание и оглеение почвы определяется как высоким уровнем ГВ, так и застоем верховодки.

Для развития внутриконтинентального засоления в гумидном климате, по нашему мнению, большое значение имеет гидрогеологический фактор. При наличии гидростатического напора высокоминерализованные воды из более глубоких водоносных горизонтов обеспечивают подпитку горизонтов ГВ и играют ведущую роль в переносе солей в зону активного водообмена и почвообразования. Появление гидрохимических зональностей в результате развития гидравлической связи между смежными водоносными горизонтами объясняется в литературе наличием тектонических деформаций территории, дочетвертичных эрозионно-аккумулятивных процессов, глубокими размывами палеодолин, погребенных структур разломов [Новский, 1975; Vinograd, 2004].

Исследования химического состава ГВ, имеющих распространение на 1-й и 2-й террасах (рис. 2), выполненные нами в июне 2017 г. (табл. 2), показали, что минерализация ГВ, за несколькими исключениями, находилась в интервале 1,0–2,7 г/л, что намного выше значений, характерных для зоны пресных вод.

Между отдельными компонентами химического состава и минерализацией была установлена корреляционная зависимость, которая ослабевала в следующем порядке:  $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^- > CO_3^{2-}$  для анионов и  $Ca^{2+} \approx Mg^{2+} > Na^+ > K^+$  для катионов. Корреляционная взаимосвязь минерализации с  $SO_4^{2-}$

Таблица 2. Химический состав (мг/л) ГВ низких террас. Пробы отобраны в период с 09.06 по 15.06.2017 г.

Table 2. Chemical composition (mg/L) of the groundwater in the low terraces. The samples were taken in June 9–15, 2017

№ на рис. 2 No in Fig.2	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Минерализация TDS
2	6,9	0	683	128	816	403	53	115	4,1	2201
3	6,8	0	586	170	153	173	44	120	0,5	1247
4	7,6	24	171	737	366	320	120	92	5,4	1836
6	7,2	0	189	227	168	115	28	91	20,9	839
7	6,9	0	521	614	565	212	47	506	1,4	2466
8	7,1	0	98	24	32	24	6	12	0,0	196
9	7,1	0	732	489	693	213	53	529	26,5	2736
10	8,2	48	561	213	252	48	66	276	0,0	1464
11	7,9	36	329	213	268	55	15	310	5,1	1231
12	7,8	48	756	85	68	108	26	161	0,4	1253

сильная ( $R = 0,82$ ), с остальными ионами – средней силы. Вместе с тем, для ГВ оказались характерны смешанный химизм и высокая пестрота макрокомпонентного состава.

Почвенно-грунтовый сток играет существенную роль в формировании состава рек исследуемой территории. Так, анализ результатов гидрохимического опробования в нижнем течении рек (табл. 3), выполненный нами в 2018 г., показал наличие повышенной минерализации ряда притоков оз. Неро.

Отбор проб воды речной сети бассейна проводился в основном в период весеннего половодья, в начале мая, поэтому можно ожидать,

что найденные количества растворенных солей соответствуют не самому высокому уровню в структуре годового хода. Однако и без того часть рек демонстрировали концентрации солей свыше 500 мг/л, что совершенно нехарактерно для рек как Ярославского Поволжья, так и Восточной Европы в целом. Среди притоков оз. Неро наиболее высокой минерализацией выделялись реки Мазиха, Кучебешь, Сула (точки 4, 5, 9 на рис. 1).

Помимо поверхностного и грунтового стока, которые могут оказывать влияние на соотношение макрокомпонентов и величину минерализации, нельзя исключать участие роднико-

Таблица 3. Химический состав вод основных притоков оз. Неро

Table 3. Chemical composition of the main tributaries of Lake Nero

Место отбора Sampling site	№ на рис. 1 No in Fig. 1	Дата отбора Date of sampling	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Минерализация TDS
				мг/л mg/L							
Романиха Romaniha	2	04.05.2018	7,1	183	66	56	63	18	66	2	454
Ишня (Ростов) Ishnya (Rostov)	3	03.05.2018	7,1	214	79	44	40	12	68	4	460
Мазиха Maziha	4	02.05.2018	7,6	458	113	49	90	32	100	3	845
Кучебешь Kuchelesh'	5	02.05.2018	7,6	397	99	76	100	24	96	2	793
Сара Sara	6	02.05.2018	7,3	214	21	34	49	24	12	1	355
Княжня Knyazhnya	7	02.05.2018	7,5	244	19	41	56	17	20	1	372
Сула Sula	9	02.05.2018	7,5	305	76	54	68	20	77	2	602
Векса (плотина) Veksa (dam)	10	02.05.2018	7,3	214	29	57	50	12	19	0	381
Векса Veksa	11	02.05.2018	7,6	214	29	42	42	19	25	2	372



вого питания рек. Например, в питании р. Мазихи, берущей начало на приводораздельном пространстве, принимает участие система родников. Исследованные нами в 2018 г. родники, выходы которых имеются в откосе оврага с. Шурскол, дренируемые р. Мазихой, имели минерализацию 1,3 и 2,0 г/л; в их макрокомпонентном составе преобладали  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Na}^+$ . При этом в химическом составе вод самой р. Мазихи также обнаружено высокое содержание этих ионов.

Показатель минерализации тесно коррелирует ( $R > 0,70$ ) с содержанием  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ , а наиболее сильная корреляция установлена с содержанием  $\text{Na}^+$  ( $R = 0,84$ ). Участие  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  в макрокомпонентном составе особенно заметно в водах рек с повышенной минерализацией. Кроме основных притоков оз. Неро высокое содержание солей (1,2 г/л) с существенным вкладом  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  обнаружено в р. Рюмина (вблизи д. Солонино), впадающей в р. Мозгу, примыкающую к котловине с СЗ.

Следует отметить, что для рек Ярославского Поволжья характерны высокая жесткость и гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав [Рохмистров, 2004]. В связи с этим среди изученных рек отдельного внимания заслуживает Ишняя, второй по величине приток оз. Неро. Помимо необычного соотношения главных ионов она проявляет неоднородность состава на своем протяжении.

В период 2017–2019 гг. р. Ишняя регулярно исследовалась нами (табл. 4) в створе, расположенном ниже по течению от ООПТ «Соляной источник «Варницы».

На фоне невысокой водности реки нами выявлены как повышенные величины минерализации, так и значительные колебания химического состава в течение периода наблю-

дения (табл. 4). Минимальная концентрация растворенных солей (333 мг/л) относится к моменту прохождения пика весеннего половодья (16.04.2017). В макрокомпонентном составе в это время преобладали  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ . В период летней и раннеосенней межени (даты отбора: 26.09.2017, 28.07.2018, 18.08.2019) при сильном испарении река переходила на грунтовое питание и мелела. Концентрация солей в это время достигала величины 1–2 г/л, а ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в составе воды становились доминирующими (табл. 4).

Как видно из графика (рис. 4), изменение химического состава обеспечивалось в первую очередь за счет колебаний концентраций  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ . С ними же была установлена сильная корреляционная взаимосвязь величины минерализации ( $R > 0,90$ ).

Одной из характерных особенностей малых рек является их тесная связь с окружающим ландшафтом, поэтому процессы, происходящие на малом водосборе, быстро отражаются на состоянии реки, ее стоке и химическом качестве воды [Рохмистров, 2004]. Воды р. Ишния на рассмотренном отрезке испытывают локальное влияние участка с выходом соленого родника – ООПТ «Соляной источник «Варницы», а увеличение концентрации растворенных солей находится в тесной связи с изменениями ионного состава ГВ и почв участка, отражая фазы повышенной водности и низкого стока [Simonova et al., 2020].

Засоление почв территории водосбора, повышенная минерализация ГВ и притоков озера не может не отразиться на химическом составе самого оз. Неро. Поэтому, несмотря на проточность, водоем выделяется среди пресных озер средней полосы повышенной соленостью

Таблица 4. Химический состав воды р. Ишняя (точка 12 на рис. 1) в период наблюдений 2017–2019 гг.

Table 4. Chemical composition of the Ishnya River (No. 12 in Fig. 1) during the observation period 2017–2019

Дата отбора Date of sampling	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Минерализация TDS
16.04.2017	6,8	0	109	67	57	40	24	31	5	333
11.05.2017	7,1	15	190	176	234	156	32	51	12	866
31.05.2017	7,7	12	214	142	163	104	19	65	5	724
12.06.2017	7,8	18	311	160	152	110	34	71	12	867
26.09.2017	8,0	0	366	482	334	200	48	271	8	1709
03.05.2018	7,4	0	153	177	123	50	12	146	8	670
28.07.2018	6,8	0	305	624	370	140	48	414	7	1907
04.10.2018	7,0	0	305	142	104	60	30	121	5	767
02.05.2019	7,9	0	305	241	89	76	30	119	7	867
18.08.2019	7,4	0	305	344	150	112	29	250	10	1199

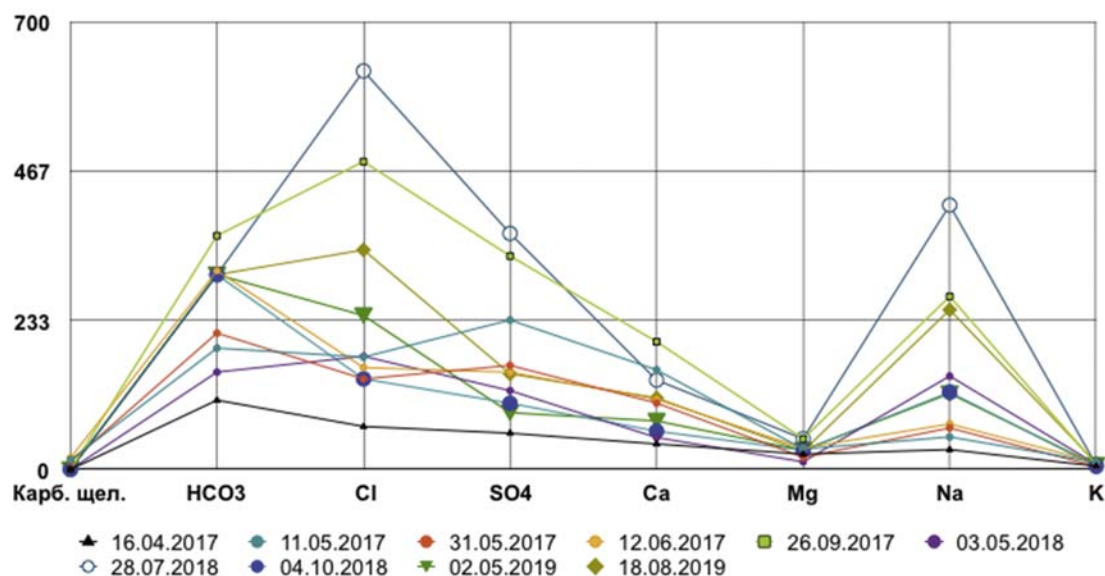


Рис. 4. Внутригодовое варьирование химического состава воды (мг/л) р. Ишня  
 Fig. 4. Intra-annual variation of the chemical composition (mg/L) of the Ishnya River

и жесткостью воды [Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003].

По результатам гидрохимических исследований оз. Неро (табл. 5) нами было установлено, что средняя за период наблюдений минерализация воды составила 449 мг/л. При этом в зависимости от даты отбора ее величина могла различаться в 3 раза. Типичное для пресных водоемов соотношение макрокомпонентов с преобладанием  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  сохранялось на протяжении большей части периода наблюдений,

однако в отдельные даты отбора это соотношение нарушалось за счет существенного возрастания вклада  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$ , что сопровождалось общим увеличением минерализации.

Минимальная величина минерализации (230 мг/л) установлена во время весеннего половодья, а максимальная – в период зимней (671 мг/л) и летней (720 мг/л) межени. Увеличение количества растворенных солей в период низкого стока связано с тем, что водность в это время обеспечивается преимущественно

Таблица 5. Химический состав оз. Неро в период наблюдений 2017–2019 гг.

Table 5. Chemical composition of Lake Nero in 2017–2019

Дата отбора Date of sampling	pH	Карб. щел. Carbonate alkalinity	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	Минерализация TDS
		мг/л mg/L								
16.04.2017	6,9	0	122	28	21	33	10	13	3	230
11.05.2017	6,9	0	173	21	55	50	20	12	10	341
31.05.2017	7,3	0	146	85	50	50	20	14	2	367
09.06.2017*	7,0	0	157	35	35	47	10	16	3	303
12.06.2017	6,9	0	163	35	39	53	8	18	4	320
26.09.2017	7,7	90	203	59	40	53	28	46	3	523
10.02.2018	7,3	0	181	240	55	47	22	122	4	671
03.05.2018	7,6	40	178	100	101	50	28	80	2	580
29.07.2018	7,1	40	290	106	90	25	10	157	2	720
04.10.2018	7,2	20	178	30	74	30	12	58	3	405
02.05.2019	8,8	0	203	136	70	53	16	65	2	545
18.08.2019	8,3	0	140	118	21	33	15	49	3	378

Примечание. \* Проба отобрана в районе с. Угодичи (точка 8 на рис. 1).

Note. Sample from the Ugodichi area (No 8 in Fig. 1).

грунтовыми и подземными водами повышенной минерализации. Однако увеличение вклада  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$  удавалось наблюдать не только в периоды низкого стока. Так, в многоводные фазы причиной этого может служить увеличение доли поверхностного стока с территории водосбора [Корнева и др., 2020].

С помощью корреляционного анализа Спирмена установлена сильная статистически значимая взаимосвязь ( $p < 0,05$ ) минерализации с содержанием ионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  ( $R = 0,82, 0,75, 0,73$  и  $0,90$  соответственно). Взаимосвязь средней силы установлена с величиной pH и  $\text{CO}_3^{2-}$  ( $R < 0,60$ ). Самое высокое варьирование за период наблюдений испытывали концентрации  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$  (коэф. вариации – 77 и 86 % соответственно), тогда как значения  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$  отличались меньшей изменчивостью (коэф. вариации – 24 %).

Следует учесть, что наша точка регулярно отбора располагалась близко к береговой линии и в той части озера, которая испытывает сильную рекреационную и антропогенную нагрузку вследствие поступления городских стоков Ростова Великого, поэтому не может быть репрезентативной для целей мониторинга за химическим составом озера. Тем не менее наши наблюдения подтверждают известные в литературе факты о повышенной минерализации оз. Неро, высокой внутригодовой изменчивости его химического состава и значимом вкладе  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$  [Крайнер, Студенов, 1959; Фортунатов, Московский, 1970; Бикбулатов и др., 2003; Состояние..., 2008].

#### *Тренды эволюционных изменений почв на фоне глобального потепления*

При изучении ландшафтов оз. Неро около 100 лет назад к «усолам» и «усолистым» разностям были отнесены почвы с содержанием солей от 0,3 до 1,0 % [Бернштейн, 1915]. Представленные небольшими одиночными ареалами, приуроченными к слабодренированным депрессиям, засоленные почвы в своем развитии сильно зависят от положения уровня ГВ. Поэтому осушительная мелиорация 1980-х гг. должна была привести к сокращению площадей или полному исчезновению засоленных почв [Матинян и др., 1996]. Однако на фоне современных изменений климата дальнейший прогноз их эволюции оказался плохо предсказуем. Осложняет оценку дальнейшего развития почв и повсеместное забрасывание сельскохозяйственных земель начиная с 1990-х гг., которое привело к ухудшению условий искусственного дренирования

и тем самым могло запустить процесс вторичного засоления почв.

Преобладающей тенденцией в многолетнем распределении средних температур воздуха бассейна Верхней Волги является стабильное повышение среднегодовых значений температуры. В сезонном аспекте основная его доля приходится на зиму и весну. Это привело к повышению температуры воды водоемов и их более раннему очищению ото льда [Литвинов и др., 2012]. В многолетнем изменении суммарных атмосферных осадков основная тенденция связана с их увеличением в целом за год и преимущественно за счет повышения их выпадения в холодное полугодие, зимой и осенью [Литвинов, Законнова, 2014].

Выполненный нами анализ многолетних данных по метеостанции Ростов установил, что в изменении климатических характеристик района исследования за период 1991–2018 гг. в первую очередь отмечается рост средней годовой температуры воздуха на 1,2 °C по сравнению с климатической нормой. Зимы стали теплее, на 10 дней увеличилось количество оттепелей и абсолютный минимум температуры составил –35 °C вместо –40 °C в предыдущие 30 лет. Продолжительность вегетационного периода (с температурой больше 10 °C) увеличилась на неделю, что привело к росту суммы активных температур более чем на 150 °C, а годовая сумма атмосферных осадков увеличилась почти на 20 % от нормы.

Почвы, обследованные нами в 2016–2018 гг., сравнивались попарно со своими ранними аналогами, обследованными в 1984–1991 гг. во время крупномасштабного картографирования и имеющими надежную пространственную привязку. Оценку изменений, произошедших за 30–40-летний временной интервал, характеризующий вторую половину климатического тренда, проводили на примере 9 почвенных разрезов (точки 1, 7, 8, 11, 13–17 на рис. 2). С точки зрения временной динамики почвы раннего периода обследования принимались за нулевую точку отсчета. Все изученные объекты относились к почвам избыточного грунтового увлажнения. Современный уровень ГВ варьировал от 50 до 110 см.

Сравнительный анализ почвенных свойств за два срока наблюдения выполнялся на основе оценки различий по критерию Уилкоксона (табл. 6). Выборки состояли из показателей почвенных свойств, определенных по генетическим горизонтам профиля, и сравнивались попарно.

Статистический анализ установил значимые различия ( $p < 0,05$ ) между первым и вторым пе-

Таблица 6. Результаты оценки значимости различий почв первого и второго обследования по критерию Уилкоксона

Table 6. Results of assessing the significance of differences in soils of the first and second surveys by Wilcoxon signed rank test

Параметр Parameter	Стокс Salinity	EC2.5	Содержание карбонатов Carbonate content	Зольность Ash	pHводн pHwater
Уровень значимости (p) Significance level (p)	0,000	0,000	0,033	0,048	1,00
N	42	42	27*	15**	42

Примечание. \*Только для карбонатных почв; \*\*только для торфяных почв.

Note. \*Only for carbonate soils; \*\*only for peat soils.

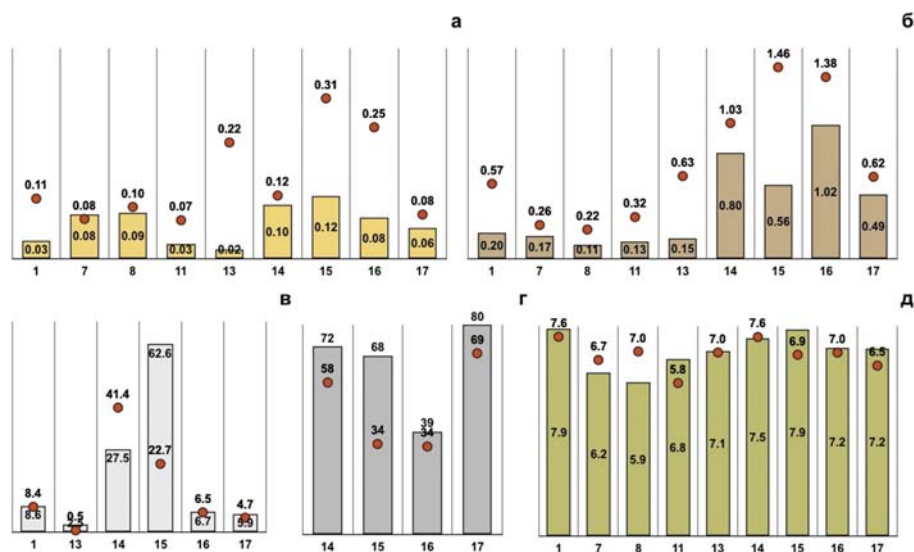


Рис. 5. Сравнение содержания Стокс (%) (а), EC2,5 (дСм/м) (б), карбонатов (в), зольности торфяных почв (г) и pHводн (д) в почвах первого (1984–1991 гг.) и второго (2016–2018 гг.) обследования. Точками показаны значения первого обследования, столбиками – второго обследования. Значения рассчитаны как средневзвешенные на мощность профиля. Номера по оси X соответствуют номерам разрезов на рис. 2

Fig. 5. Comparison of the content of Stox (%) (a), EC2,5 (dS/m) (б), carbonates (в), ash content of peat soils (г), and pHwater (д) in the soils of the first (1984–1991) and second (2016–2018) surveys. The dots show the values of the first survey, the bars – the values of the second survey. The values are calculated as weighted averages for the profile power. The numbers on the X axis correspond to the numbers of the pits in Fig. 2

риодами обследования почв в отношении ряда показателей. На диаграмме сравнения видна четкая тенденция снижения уровня засоления современных почв как по показателю Стокс (рис. 5, а), так и по EC2.5 (рис. 5, б). Так, современные почвы обладают преимущественно слабой степенью засоления или относятся к виду незасоленных согласно классификации почв России [Классификация..., 2004].

В противоположность количеству водорастворимых солей содержание карбонатов в почвах (разрезы карбонатных почв соответствуют

точкам 1, 13–17 на рис. 2) имело тенденцию увеличения (рис. 5, в). Различие этого показателя между обследованиями определено нами как существенное (табл. 6).

На формирование вертикального распределения карбонатов по профилю оказывает влияние соотношение скоростей восходящей и нисходящей миграции богатых кальцием почвенных растворов и вместе с ними – процессов окарбоначивания и выщелачивания. Таким образом, судя по увеличению их содержания, процесс окарбоначивания гидроморфных почв

в последние десятилетия стал протекать интенсивнее. Усиление карбонатакопления не могло не сказаться на зольности торфяных почв (рис. 5, г). Во всех случаях наблюдался ее достоверный рост.

Современной тенденцией гумидного климата в связи с увеличением кислотности атмосферных осадков является повсеместное подкисление почв [Blake et al., 1999; Driscoll et al., 2001; Yang et al., 2012; FAO..., 2015]. Однако на изученном ряду нам не удалось установить единого тренда в отношении почвенной кислотности (рис. 5, д). Например, для карбонатных почв, в числе которых торфяные, оказалось характерным увеличение рНводн. Также здесь важно подчеркнуть, что специфика водного режима рассмотренных почв определяет их отличие от автоморфных почв водоразделов и, следовательно, трендов их эволюции.

В результате резкого сокращения площади обрабатываемых земель в нечерноземных регионах России засоленные почвы Ростовской низины больше не являются серьезной хозяйственной проблемой. Вместе с тем они могут служить индикаторами изменений условий окружающей среды, в том числе изменений температуры и режима увлажнения, и представляют интерес как чувствительные компоненты озерного ландшафта, влияющие на качество поверхностных вод.

## Заключение

Генезис засоленных почв Ростовской низины тесно связан с близким залеганием ГВ повышенной солености. Засоление почв приурочено к таким типам рельефа, как плоские обводненные или заболоченные пониженные участки в пределах славодренлируемой части приозерной котловины оз. Неро.

Систематическое рассоление, которому подвергаются почвы в течение года в гумидном климате, приводит к тому, что многие из них по своим базовым свойствам и морфологическим признакам незначительно отличаются от «зональных» гидроморфных почв, поэтому в классификационном положении засоление учитывается на уровне подтипа в отделах органоаккумулятивных, глеевых, торфяных почв.

В почвах заметно выражена тенденция относительного накопления  $SO_4^{2-}$  и  $Ca^{2+}$ . Более миграционно активные  $Cl^-$  и  $Na^+$  и частично  $SO_4^{2-}$  и  $Ca^{2+}$ , вымываясь из почвенного профиля в фазы повышенной водности, оказываются в водотоках ближайшей гидрографической сети, о чем свидетельствует нетипичный химический состав и повышенная минерализация притоков и самого оз. Неро. Это подчеркивает значение

буферной способности почв для качества поверхностных вод района.

Исследования засоленных почв Ростовской низины, выполненные с целью оценки трансформации, произошедшей за 30–40 лет на фоне потепления климата в бассейне Верхней Волги, показали статистически достоверное снижение уровня засоления, усиление процесса накопления карбонатов, увеличение зольности торфяных почв.

Динамичность свойств и ряд уникальных особенностей приозерных почв имеют важность для оценки изменений условий экосистемы оз. Неро.

## Литература

Александровский А. Л. Эволюция почв низких террас озера Неро // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1155–1167.

Алешинская З. В. Палеогеографические исследования в районе Рождественской стоянки на озере Неро // Первобытный человек, его материальная культура и природная среда в плейстоцене и голоцене (палеолит и неолит): Тез. докл. М., 1973. С. 111–112.

Алешинская З. В., Гунова В. С. Новейшие отложения и палеогеография оз. Неро // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 1997. № 1. С. 49–52.

Алешинская З. В., Гунова В. С. Плейстоценовые озера Ростовской котловины и ее окрестностей // История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб.: Наука, 1998. С. 345–350.

Базилевич Н. И., Панкова Е. И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.

Бардин А. В. Ростовское овощеводство. Ярославль, 1938. 89 с.

Бартош Т. Д. Геология и ресурсы пресноводных известковых отложений голоцена: средняя полоса Европейской части СССР. Рига: Зинатне, 1976. 256 с.

Барышева А. А. Бассейн озера Неро (физико-географическая характеристика): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1953. 15 с.

Бернштейн Б. Л. Огородные земли вокруг Ростовского озера Неро // Вестник Ярославского земства. 1903. № 7–8. С. 226–231.

Бернштейн Б. Л. Почвенно-геологическое описание Ростовского уезда. Ярославль: Статистический отдел Ярославского губернского земства, 1915. 65 с.

Бикбулатов Э. С., Бикбулатова Е. М., Литвинов А. С., Поддубный С. А. Гидрология и гидрохимия озера Неро. Рыбинск: Рыбинский Дом печати, 2003. 192 с.

Великанов Д. А. Почвообразующие условия и почвы Ярославской области // Труды Ярославского с.-х. ин-та. 1957. Т. 4. С. 169–180.

Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.

География почв и почвенное районирование центрального экономического района СССР / Ред. Г. В. Добровольский, И. С. Урусевская. М.: Изд-во МГУ, 1972. 469 с.

*Гидрогеология СССР*. Т. 1. Московская и смежные области / Ред. А. В. Сидоренко. М.: Недра, 1966. 423 с.

ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».

Гунова В. С. История озера Неро по палеоботаническим данным: Автореф. ... дис. канд. геогр. наук. М., 1975. 21 с.

Докучаев В. В. Русский чернозем. Отчет Вольному экономическому обществу. СПб.: тип. Деклерона и Евдокимова, 1883. 376 с.

Законнов В. В., Поздняков Ш. Р., Кондратьев С. А., Игнатъева Н. В., Цветков А. В., Законнова А. В. Эволюционное развитие и современное состояние озера Неро по данным анализа сапропеля // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 91(94). С. 7–18. doi: 10.47021/0320-3557-2020-7-18

Законнова А. В., Литвинов А. С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2016. Вып. 75(78). С. 16–28. doi: 10.24411/0320-3557-2016-10016

Засоленные почвы России / Ред. Л. Л. Шишов, Е. И. Панкова. М.: Академкнига, 2006. 853 с.

Кичунов Н. И. Ростовское огородничество // Ежегодник Главного Управления Землеустройства и Земледелия по департаменту земледелия. Петербург: Тип. В. Ф. Киршбаума; 1911. С. 288–332.

Классификация и диагностика почв России / Ред. Л. Л. Шишов. Смоленск: Ойкумена; 2004. 342 с.

Константинов Е. А., Рудинская А. И., Лазукова Л. И., Карпущина Н. В., Бричева С. С. Новые данные по истории озера Неро в голоцене // Динамика экосистем в голоцене (к 100-летию Л. Г. Динесмана): Мат-лы V Всерос. науч. конф. (Москва, 11–15 ноября 2019 г.). М., 2019. С. 148–149.

Корнева Л. Г., Митропольская И. В., Сиделев С. И., Соловьева В. В., Сахарова Е. Г., Макарова О. С. Фитопланктон озера Неро в летний период 2017 г. // Труды Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 91(94). С. 61–74. doi: 10.47021/0320-3557-2020-61-73

Крайнер Н. П., Студенов Н. С. Реки и озера // Природа и хозяйство Ярославской области. Ч. I. Природа. Ярославль: Яросл. кн. изд-во, 1959. С. 215–250.

Лазарева В. И., Соколова Е. А. Динамика и фенология зоопланктона крупного равнинного водохранилища: отклик на изменение климата // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 6. С. 564–574.

Лазукова Л. И., Константинов Е. А., Вайкутиене Г. Палеоэкология озера Неро в конце позднего плейстоцена и голоцене (по данным диатомового анализа) // Пути эволюционной географии. Вып. 2: Мат. II Всерос. науч. конф., посвящ. памяти проф. А.А. Величка (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). М., 2021. С. 176–180.

Литвинов А. С. Экологические условия в озере Неро в XXI веке // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения: Сб. науч. тр., посвящ. Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН (Сочи, 02–07 окт. 2017 г.). Новочеркасск, 2017. С. 374–378.

Литвинов А. С. Гидрология озера Неро // Евразийский научный журнал. 2022. № 3. С. 1–5.

Литвинов А. С., Законнова А. В. Экологические условия в Рыбинском водохранилище при потеплении климата // Географический вестник. 2014. № 2(29). С. 41–45.

Литвинов А. С., Пырина И. Л., Законнова А. В., Кучай Л. А., Соколова Е. Н. Изменение термического режима и продуктивности фитопланктона Рыбинского водохранилища в условиях потепления климата // Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ: Сб. мат. докл. уч. Всерос. конф. (Борок, 22–26 окт. 2012 г.). Ижевск, 2012. С. 167–169.

Матинян Н. Н., Русаков А. В., Керзум П. П. Основные черты строения почвенного покрова Ярославского Поволжья // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 3. Биология. 1996. Вып. 1(3). С. 74–86.

Москвитин А. И. Стратиграфия плейстоцена Европейской части СССР. М.: Наука, 1967. 238 с.

Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)» / Ред. Р. С.-Х. Эдельгериев. Том 2. М.: Издательство МБА, 2019. 476 с.

Новский В. А. Верхний плейстоцен Ярославского Поволжья // Ученые записки ЯГПИ. 1971. Вып. 87. С. 3–48.

Новский В. А. Плейстоцен Ярославского Поволжья. М.: Наука, 1975. 236 с.

Печенин Н. И. Сельскохозяйственные районы Ярославской губернии. Ярославль, 1928. 104 с.

Рохмистров В. Л. Подземные воды Ярославского района // Краеведение. Ученые записки ЯГПИ. 1968. Вып. 71. С. 73–92.

Рохмистров В. Л. Малые реки Ярославского Поволжья. Ярославль: Изд. ВВО РЭА, 2004. 54 с.

Русаков А. В. Закономерности формирования почвенного покрова центра Ярославского Поволжья: Дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1993. 300 с.

Симонова Ю. В., Русаков А. В. История и задачи исследования засоленных почв гумидной зоны центра Русской равнины на примере окрестностей Ростова Великого (Ярославская область) // Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения: Мат-лы III Всерос. науч. конф. (Пушино, 15–17 ноября 2017 г.). Пушино, 2017. С. 204–206.

Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века / Ред. В. И. Лазарева. М.: Наука, 2008. 406 с.

Труды лаборатории сапропелевых отложений / Ред. В. Н. Сукачев, Н. В. Кордэ. М.: АН СССР, 1956. Вып. VI. 214 с.

Флеров А. Ф. Ботанико-географические очерки. III. Ростовский край // Землеведение. 1903. Т. 10, кн. 2-3. С. 193–218.

Фортунатов М. А., Московский Б. Д. Озера Ярославской области. Кадастровое описание и краткие лимнологические характеристики // Озера Ярославской области и перспективы их хозяйственного использования. Ярославль, 1970. С. 3–183.

Чижиков Н. В. Геоморфология и почвы бассейна озера Неро и реки Устье-Которосль // Труды лабора-

тории сапропелевых отложений. М.: АН СССР, 1956. Вып. VI. С. 130–144.

Babanazarova O. V., Sidelev S. I., Zhdanova S. M., Litvinov A. S., Ovseenko A. S., Korovkina K. P. Water level in a shallow highly eutrophic lake: Development factor by macrophyte or phytoplankton type: Case study of Lake Nero, Yaroslavl Oblast // *Water Resources*. 2018. Vol. 45, no. 6. P. 897–907. doi: 10.1134/S0097807818060027

Blake L., Goulding K. W. T., Mott C. J. B., Johnston A. E. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under woodland and grass at Rothamsted Experimental Station, UK // *European Journal of Soil Science*. 1999. Vol. 50, no. 3. P. 401–412. doi: 10.1046/j.1365-2389.1999.00253.x

Driscoll C. T., Lawrence G. B., Bulger A. J., Butler T. J., Cronan C. S., Eagar C., Lambert K. F., Likens G. E., Stoddard J. L., Weathers K. C. Acidic deposition in the Northeastern United States: sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies: The effects of acidic deposition in the northeastern United States include the acidification of soil and water, which stresses terrestrial and aquatic biota // *BioScience*. 2001. Vol. 51, no. 3. P. 180–198. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0180:ADITNU]2.0.CO;2

FAO. Guidelines for soil description, 4th ed. Rome, 2006.

FAO. Handbook for saline soil management. Rome and Moscow: FAO, MSU, 2018.

FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. FAO, Rome, 2015. 608 p.

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, 2014.

Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources // *Science*. 2006. Vol. 313. P. 1068–1072. doi: 10.1126/science.1128845

Sigareva L. E., Timofeeva N. A., Zakonov V. V., Rusanov A. G., Ignatyeva N. V., Pozdnyakov Sh. R. Features of natural eutrophication of shallow Lake Nero based on sedimentary pigments // *Inland Water Biology*. 2019. Vol. 12. P. 33–41. doi: 10.1134/S1995082919060129

Simonova J. V., Rusakov A. V., Popov A. I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 438. Art. 012026. doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012026

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 01.06.2022).

Ukraintsev V. Yu., Konstantinov E. A., Zakharov A. L. Drainage changes in the Nero Lake Basin, central European Russia // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. Vol. 4, no. 1. P. 476–477. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-476

Vinograd N. A. Formation of mineral and thermal waters of some artesian basins in Russia // *Environ. Geol.* 2004. Vol. 46, no. 5. P. 675–679. doi: 10.1007/s00254-004-1007-2

Yang Y., Ji C., Ma W., Wang S., Wang S., Han W., Mohammad A., Robinson D., Smith P. Significant soil acidification across northern China's grasslands during 1980s–2000s // *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18, iss. 7. P. 2292–2300. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02694.x

## References

Alexandrovskii A. L. Soil evolution on the low terraces of Lake Nero. *Eurasian Soil Sci.* 2011;44(10):1055–1067. doi: 10.1134/S1064229311100024

Aleshinskaya Z. V. Paleogeographic studies in the area of the Rozhdestvenskaya site on Lake Nero. *Pervobytnyi chelovek, ego material'naya kul'tura i prirodnyaya sreda v pleistotsene i golotsene (paleolit i neolit): Mat. Vsesoyuz. simp. = Primitive man, his material culture and natural environment in the Pleistocene and Holocene (Paleolithic and Neolithic): Proceed. of the All-Union symp.* Moscow; 1973. P. 111–112. (In Russ.)

Aleshinskaya Z. V., Gunova V. S. Recent deposits and paleogeography of Lake Nero. *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya = Moscow University Bulletin. Series 5. Geography.* 1997;1:49–52. (In Russ.)

Aleshinskaya Z. V., Gunova V. S. Pleistocene lakes of the Rostov basin and its environs. *Istoriya pleistotsenovykh ozer Vostochno-Evropeiskoi ravniny = History of the Pleistocene lakes of the East European Plain.* St. Petersburg: Nauka; 1998. P. 345–350. (In Russ.)

Babanazarova O. V., Sidelev S. I., Zhdanova S. M., Litvinov A. S., Ovseenko A. S., Korovkina K. P. Water level in a shallow highly eutrophic lake: Development factor by macrophyte or phytoplankton type: Case study of Lake Nero, Yaroslavl Oblast. *Water Resources*. 2018;45(6):897–907. doi: 10.1134/S0097807818060027

Bardin A. V. Rostov vegetable growing. Yaroslavl; 1938. 89 p. (In Russ.)

Bartosh T. D. Geology and resources of freshwater calcareous deposits of the Holocene: The middle zone of the European part of the USSR. Riga: Zinatne; 1976. 256 p. (In Russ.)

Barysheva A. A. The Lake Nero basin (physical and geographical description): Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Moscow; 1953. 15 p. (In Russ.)

Bazilevich N. I., Pankova E. I. Soil classification by the content of soluble salts and ions. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin.* 1972; 5:36–40. (In Russ.)

Bernstein B. L. Garden lands around Lake Nero, Rostov. *Vestnik Yaroslavl'skogo zemstva = Bulletin of the Yaroslavl District Council.* 1903;7–8:226–231. (In Russ.)

Bernstein B. L. Soil-geological description of the Rostov District. Yaroslavl: Stat. otdel Yarosl. gub. zemstva; 1915. 65 p. (In Russ.)

Bikbulatov E. S., Bikbulatova E. M., Litvinov A. S., Poddubnyi S. A. Hydrology and hydrochemistry of Lake Nero. Rybinsk: Rybinskii Dom Pechati; 2003. 192 p. (In Russ.)

Blake L., Goulding K. W. T., Mott C. J. B., Johnston A. E. Changes in soil chemistry accompanying acidification over more than 100 years under wood-



land and grass at Rothamsted Experimental Station, UK. *European Journal of Soil Science*. 1999;50(3):401–412. doi: 10.1046/j.1365-2389.1999.00253.x

Chizhikov N. V. Geomorphology and soils of Lake Nero and the Ust'e-Kotorosl' River basin. *Trudy laboratorii sapropelevykh otlozhenii = Transactions of the Lab. of Sapropel Deposits*. 1956;6:130–144. (In Russ.)

Dobrovolskii G. V., Urusevskaya I. S. (eds.). Soil geography and soil zoning of the Central Economic Region of the USSR. Moscow: MSU Publ.; 1972. 469 p. (In Russ.)

Dokuchaev V. V. Russian Chernozem. A report to the Free Economic Society. St. Petersburg: Dekleron and Evdokimov; 1883. 376 p. (In Russ.)

Driscoll C. T., Lawrence G. B., Bulger A. J., Butler T. J., Cronan C. S., Eagar C., Lambert K. F., Likens G. E., Stoddard J. L., Weathers K. C. Acidic deposition in the Northeastern United States: sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies: The effects of acidic deposition in the northeastern United States include the acidification of soil and water, which stresses terrestrial and aquatic biota. *BioScience*. 2001;51(3):180–198. doi: 10.1641/0006-3568(2001)051[0180:ADITNU]2.0.CO;2

Edelgeriev R. S.-Kh. (ed.). National Report 'Global climate and soil coverings of Russia: Desertification and land degradation, institutional, infrastructure, technological adaptation measures (agriculture and forestry)'. Vol. 2. Moscow: MBA Publ.; 2019. 476 p. (In Russ.)

FAO. Guidelines for soil description, 4<sup>th</sup> ed. Rome; 2006.

FAO. Handbook for saline soil management. Rome and Moscow: FAO, Moscow State University; 2018.

FAO and ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Rome; 2015. 608 p.

Flerov A. F. Botanical and geographical essays. III. Rostov Region. *Zemlevedenie = Earth Sciences*. 1903;10(2–3):193–218. (In Russ.)

Fortunatov M. A., Moskovskii B. D. Lakes of the Yaroslavl Region. Cadastral description and brief limnological characteristics. *Ozera Yaroslavskoi oblasti i perspektivy ikh khozyaistvennogo ispol'zovaniya = Lakes of the Yaroslavl Region and prospects for their economic use*. 1970. P. 3–183. (In Russ.)

GOST (State Standard) 31957-2012. Water. Methods for determining alkalinity and mass concentration of carbonates and hydrocarbonates. (In Russ.)

Gunova V. S. History of Lake Nero according to paleobotanical data: Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Moscow; 1975. 21 p. (In Russ.)

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva; 2014.

Kichunov N. I. Rostov gardening. *Ezhegodnik Glavnogo Upravleniya Zemleustroistva i Zemledeliya po departamentu zemledeliya = Yearbook of the Main Directorate of Land Management and Agriculture for the Department of Agriculture*. St. Petersburg: Printing office V. F. Kirshbaum; 1911. P. 288–332. (In Russ.)

Konstantinov E. A., Rudinskaya A. I., Lazukova L. I., Karpukhina N. V., Bricheva S. S. New data on the history of Lake Nero in the Holocene. *Dinamika ekosistem*

*v golotsene (k 100-letiyu L.G. Dinesmana) = Dynamics of ecosystems in the Holocene (to the 100<sup>th</sup> anniversary of L.G. Dinesman): Abs. of the 5<sup>th</sup> All-Russian scientific conference (Moscow, Nov. 11–15, 2019)*. Moscow; 2019. P. 148–149. (In Russ.)

Korneva L. G., Mitropol'skaya I. V., Sidelev S. I., Solov'eva V. V., Sakharova E. G., Makarova O. S. Phytoplankton of Lake Nero in summer 2017. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;91(94):61–74. (In Russ.)

Krainer N. P., Studenov N. S. Lakes and rivers. In: *Nature and economy of the Yaroslavl Region. Part I. Nature*. Yaroslavl: Yaroslavskoe knizhnoe izd-vo; 1959. P. 215–250. (In Russ.)

Lazareva V. I. (ed.). The state of the Lake Nero ecosystem in the early XXI century. Moscow: Nauka; 2008. 408 p. (In Russ.)

Lazareva V. I., Sokolova E. A. Dynamics and phenology of zooplankton in a large plain reservoir: A response to climate changes. *Uspekhi sovremennoi biologii = Biol. Bull. Reviews*. 2013;133(6):564–574. (In Russ.)

Lazukova L. I., Konstantinov E. A., Vaikutiene G. Paleocology of Lake Nero at the end of the Late Pleistocene and Holocene (by diatom analysis). *Puti evolyutsionnoi geografii. Vypusk 2: Mat. II Vseros. nauch. konf., posvyashchennoi pamyati prof. A.A. Velichko (Moskva, 22–25 noyabrya 2021 g.) = Ways of evolutionary geography. Issue 2: Proceed. of the second All-Russian conference in memory of prof. A.A. Velichko (Moscow, Nov. 22–25, 2021)*. Moscow: 2021. P. 176–180. (In Russ.)

Litvinov A. S. Ecological conditions in Lake Nero in the 21<sup>st</sup> century. *Vodnye resursy: novye vyzovy i puti resheniya: Cb. nauch. tr.: posvyashchaetsya Godu ekologii v Rossii i 50-letiyu Instituta vodnykh problem RAN (Sochi, 02–07 okt. 2017 g.) = Water resources: New challenges and solutions. Proceed. dedicated to the Year of ecology and 50<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Water Problems of RAS (Sochi, Oct. 02–07, 2017)*. Novocherkassk; 2017. P. 374–378. (In Russ.)

Litvinov A. S. Hydrology of Lake Nero. *Evraziiskii nauchnyi zhurnal = Eurasian Scientific Journal*. 2022;3;1–5. (In Russ.)

Litvinov A. S., Pyrina I. L., Zakonnova A. V., Kuchai L. A., Sokolova E. N. Changes in the thermal regime and productivity of phytoplankton in the Rybinsk Reservoir under conditions of climate warming. *Bassein Volgi v XXI-m veke: struktura i funktsionirovanie ekosistem vodokhranilishch: Sb. mat. dokl. uch. Vseros. konf. (Borok, 22–26 okt. 2012 g.) = The Volga Basin in the 21<sup>st</sup> century: The structure and functioning of reservoirs ecosystems. Proceed. of All-Russian conference (Borok, Oct. 22–26, 2012)*. Izhevsk; 2012. P. 167–169. (In Russ.)

Litvinov A. S., Zakonnova A. V. Ecological conditions in the Rybinsk Reservoir caused by climate warming. *Geogr. Vestn. = Geographical Bulletin*. 2014;2(29): 41–45. (In Russ.)

Matinyan N. N., Rusakov A. V., Kerzum P. P. The main features of the structure of the soil cover of the Yaroslavl Volga region. *Vestnik of St. Petersburg University. Series 3. Biology*. Iss. 1(3). P. 74–86. (In Russ.)

Moskvitin A. I. Pleistocene stratigraphy of the European part of the USSR. Moscow: Nauka; 1967. 238 p. (In Russ.)



Novskii V. A. Upper Pleistocene in the Upper Volga region. *Uchenye zapiski YaGPI = Proceedings of YaSPI*. 1971;87:3–48. (In Russ.)

Novskii V. A. Pleistocene in the Upper Volga region. Moscow: Nauka; 1975. 236 p. (In Russ.)

Oki T., Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. 2006;313:1068–1072. doi: 10.1126/science.1128845

Pechenin N. I. Agricultural regions of the Yaroslavl Province. Yaroslavl; 1928. 104 p. (In Russ.)

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (accessed: 01.06.2022).

Rokhmistrov V. L. Groundwaters of the Yaroslavl Region. *Kraevedenie. Uchenye zapiski YaGPI = Local History. Proceedings of YaSPI*. 1968;71:73–92. (In Russ.)

Rokhmistrov V. L. Small rivers of the Yaroslavl Volga region. Yaroslavl: VVO REA; 2004. 54 p. (In Russ.)

Rusakov A. V. Patterns of soil cover formation in the center of the Yaroslavl Volga region: DSc (Cand. of Geogr.) thesis. St. Petersburg; 1993. 300 p. (In Russ.)

Shishov L. L. ed. *Classification and diagnostics of soils in Russia*. Smolensk: Oikumena; 2004. 342 p. (In Russ.)

Shishov L. L., Pankova E. I. (eds.). Salt-affected soils of Russia. Moscow: Akademkniga; 2006. 853 p. (In Russ.)

Sidorenko A. V. (ed.). Hydrogeology of the USSR. Vol. 1. Moscow and adjacent regions. Moscow: Nedra; 1966. 423 p. (In Russ.)

Sigareva L. E., Timofeeva N. A., Zakonov V. V., Rusanov A. G., Ignatyeva N. V., Pozdnyakov Sh. R. Features of natural eutrophication of shallow Lake Nero based on sedimentary pigments. *Inland Water Biology*. 2019;12:33–41. doi: 10.1134/S1995082919060129

Simonova J. V., Rusakov A. V., Popov A. I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;438(1):012026. doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012026

Simonova Yu. V., Rusakov A. V. History and objectives of the study of saline soils in the humid zone of

the center of the Russian Plain on the example of the environs of Rostov Velikii (Yaroslavl Region). *Problemy istorii, metodologii i sociologii pochvovedeniya: Materialy III Vseros. nauch. konf. (Pushchino, 15–17 noyabrya 2017 g.) = Problems of history, methodology and sociology of soil science: Proceed. of the 3<sup>rd</sup> All-Russian conf. (Pushchino, Nov. 15–17, 2017)*. Pushchino; 2017. P. 204–206. (In Russ.)

Sukachev V. N., Korde N. V. (eds.). Transactions of the Laboratory of sapropel deposits. Iss. 6. Moscow: Izd-vo AN SSSR; 1956. 214 p. (In Russ.)

Ukrainsev V. Yu., Konstantinov E. A., Zakharov A. L. Drainage changes in the Lake Nero Basin, central European Russia. *Limnology and Freshwater Biology*. 2020;4: 476–477. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-476

Velikanov D. A. Soil-forming conditions and soils of the Yaroslavl Region. *Trudy Yaroslavskogo sel'skokhozyaistvennogo instituta = Transactions of Yaroslavl Agricultural Institute*. 1957;4:169–180. (In Russ.)

Vinograd N. A. Formation of mineral and thermal waters of some artesian basins in Russia. *Environ Geol*. 2004;46(5):675–679. doi: 10.1007/s00254-004-1007-2

Vorob'eva L. A. Chemical analysis of soils. Moscow: MSU Publ.; 1998. 272 p. (In Russ.)

Yang Y., Ji C., Ma W., Wang S., Wang S., Han W., Mohammad A., Robinson D., Smith P. Significant soil acidification across northern China's grasslands during 1980s–2000s. *Global Change Biology*. 2012;18:2292–2300. doi: 10.1111/j.1365-2486.2012.02694.x

Zakonov V. V., Pozdnyakov Sh. R., Kondratiev S. A., Ignatyeva N. V., Tsvetkov A. I., Zakonova A. V. Evolutionary development and current state of Lake Nero according to sapropel analysis. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod RAN = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;91(94):7–18. doi: 10.47021/0320-3557-2020-7-18 (In Russ.)

Zakonova A. V., Litvinov A. S. Long term changes in the hydroclimatic regime of the Rybinsk Reservoir. *Tr. Inst. biol. vnutr. vod RAN = Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2016;75(78): 16–28. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 11.06.2022; принята к публикации / accepted: 15.09.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Симонова Юлия Владимировна

ассистент кафедры почвоведения и экологии почв  
Института наук о Земле

e-mail: [uvsim@yandex.ru](mailto:uvsim@yandex.ru)

### Русаков Алексей Валентинович

д-р геогр. наук, профессор, заведующий кафедрой  
почвоведения и экологии почв Института наук о Земле

e-mail: [spp-06@mail.ru](mailto:spp-06@mail.ru)

### Лемешко Наталья Александровна

канд. геогр. наук, доцент кафедры климатологии  
и мониторинга окружающей среды Института наук о Земле

e-mail: [n.lemeshko@spbu.ru](mailto:n.lemeshko@spbu.ru)

## CONTRIBUTORS:

### Simonova, Yuliya

Assistant Lecturer, Soil Science and Soil Ecology Department

### Rusakov, Aleksey

Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of Soil Science and Soil Ecology Department

### Lemeshko, Natal'ya

Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Climatology and Environmental Monitoring Department, Institute of Earth Sciences

УДК 594.124:576.311.344:577.152:[665.61+556.114.5](268.46)

## АКТИВНОСТЬ ЛИЗОСОМАЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНАХ БЕЛОМОРСКИХ МИДИЙ *MYTILUS EDULIS* L. ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЫРОЙ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ СОЛЕННОСТИ

Р. У. Высоцкая\*, И. Н. Бахмет, С. А. Мурзина

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),  
\*vysotskayaru@gmail.com

В аквариальных экспериментах, имитирующих разлив сырой нефти в приливно-отливной зоне, изучено влияние этого токсиканта на активность лизосомальных гидролаз в разных органах беломорских мидий *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758. Моллюсков выдерживали в течение 1, 5 и 10 суток в трех концентрациях поллютанта (0,05; 0,25 и 2,50 мл/л). Воздействие нефтяного загрязнения изучали в сочетании с нормальной для поверхностных вод Белого моря (25 ‰) и пониженной (15 ‰) соленостью, что соответствует встречающимся в реальности экологическим ситуациям при разливах нефти на морском побережье и в эстуариях. В жабрах и гепатопанкреасе определяли активность шести лизосомальных ферментов (кислой фосфатазы, РНКазы, ДНКазы,  $\beta$ -глюкозидазы,  $\beta$ -галактозидазы,  $\beta$ -глюкуронидазы). Показано, что оба испытанных фактора (распреснение морской воды и воздействие нефти) оказывали существенное влияние на активность кислых гидролаз. Наиболее ярко лизосомальная реакция на нефть проявлялась в жабрах моллюсков в условиях нормальной солености при концентрации 0,25 мл/л и экспозиции 10 суток, о чем свидетельствует возрастание в несколько раз активности кислой фосфатазы, ДНКазы,  $\beta$ -галактозидазы и  $\beta$ -глюкуронидазы по сравнению с контролем. В гепатопанкреасе отмечена та же зависимость в изменении активности ферментов, но на меньшую величину. Влияние распреснения морской воды до 15 ‰ в контрольном варианте в жабрах вызывало небольшое повышение активности ДНКазы,  $\beta$ -галактозидазы и  $\beta$ -глюкуронидазы, в то же время в гепатопанкреасе влияние этого фактора достоверно не проявлялось. Совместное воздействие распреснения и нефтяного загрязнения несколько снижало защитные функции лизосомального аппарата в органах мидий, особенно это было заметно при высоких концентрациях нефти и длительной экспозиции моллюсков в условиях эксперимента. Таким образом, результаты проведенного исследования продемонстрировали активное участие лизосомального аппарата жабр и гепатопанкреаса моллюсков в адаптивных реакциях к комбинированному воздействию нефтяного загрязнения и пониженной солености воды. Компенсаторные изменения в активности ферментного комплекса лизосом направлены на утилизацию, трансформацию и выведение из организма нефтяных компонентов, ликвидацию поврежденных воздействием токсиканта структур и макромолекул, а также обеспечение жизнедеятельности организма в сложившихся неблагоприятных условиях.

Ключевые слова: мидии *Mytilus edulis* L.; влияние нефти; соленость; лизосомальные ферменты; Белое море

Для цитирования: Высоцкая Р. У., Бахмет И. Н., Мурзина С. А. Активность лизосомальных ферментов в органах беломорских мидий *Mytilus edulis* L. под воздействием сырой нефти в условиях различной солености // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 50–64. doi: 10.17076/eco1719

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета РФ на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0006, № г.р. 122032100052-8).

## **R. U. Vysotskaya\*, I. N. Bakhmet, S. A. Murzina. THE ACTIVITY OF LYSOSOMAL ENZYMES IN ORGANS OF THE WHITE SEA MUSSEL *MYTILUS EDULIS* L. UNDER CRUDE OIL IMPACT IN DIFFERENT SALINITY CONDITIONS**

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*vysotskayaru@gmail.com*

The effect of the toxicant on the activity of lysosomal hydrolases in organs of the White Sea mussels *Mytilus edulis* (Linnaeus 1758) was studied in aquatic experiments simulating a crude oil spill in the tidal zone. The mollusks were exposed for 1, 5 and 10 days to three pollutant concentrations (0.05; 0.25, and 2.50 ml/l). The impact of oil pollution was studied in combination with salinity normal for White Sea surface water (25 ‰) and low (15 ‰), which corresponds to reality during oil spills on the coast and in estuaries. We determined the activity of six lysosomal enzymes (acid phosphatase, RNase, DNase,  $\beta$ -glucosidase,  $\beta$ -galactosidase, and  $\beta$ -glucuronidase) in the gills and hepatopancreas. Both factors (sea water desalination and oil impact) had a significant effect on the activity of acid hydrolases. The most pronounced lysosomal reaction to oil appeared in the gills under normal salinity at 0.25 ml/l concentration and exposure for 10 days, as evidenced by a several-fold increase in the activity of acid phosphatase, DNase,  $\beta$ -galactosidase, and  $\beta$ -glucuronidase compared to the control. In the hepatopancreas, the same dependence in enzyme activity was noted, but to a lesser extent. Seawater desalination to 15 ‰ in the control caused a slight increase in the activity of DNase,  $\beta$ -galactosidase, and  $\beta$ -glucuronidase in the gills, while the effect for the hepatopancreas was insignificant. The combined effect of desalination and oil pollution somewhat reduced the protective functions of the lysosomal apparatus in mussels organs, which was especially noticeable at high oil concentrations and prolonged exposure of mollusks to experimental conditions. Thus, the results of the study demonstrate active participation of the lysosomal apparatus of the gills and hepatopancreas of mollusks in the adaptive responses to the combined effects of oil pollution and low water salinity. Compensatory changes in the activity of the enzyme complex of lysosomes are aimed at the utilization, transformation and excretion of oil components from the body, elimination of the structures and macromolecules damaged by the toxicant, as well as maintaining the vital activity of the organism under adverse conditions.

**Keywords:** mussels *Mytilus edulis* L.; oil impact; salinity; lysosomal enzymes; White Sea

**For citation:** Vysotskaya R. U., Bakhmet I. N., Murzina S. A. The activity of lysosomal enzymes in organs of the White Sea mussel *Mytilus edulis* L. under crude oil impact in different salinity conditions. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 50–64. doi: 10.17076/eco1719

**Funding.** The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRC RAS (FMEN-2022-0006, No. 122032100052-8).

### **Введение**

Нефть и нефтепродукты наряду с пестицидами и тяжелыми металлами являются наиболее распространенными загрязняющими ве-

ществами окружающей среды. Особую опасность представляют нефтяные загрязнения для водных экосистем [Коршунова, Логинов, 2019]. Основные источники поступления нефти в воды Мирового океана – аварийные разливы при

добыче, транспортировке, перевалке и хранении нефти, нефтеперерабатывающие предприятия, добыча нефти в море, подводные трубопроводы, судоходство, а также природные поступления нефти из трещин и разломов морского дна [Немировская, 2013; Патин, 2017].

Нефть является сложной смесью, включающей множество органических и неорганических компонентов. Среди них преобладают углеводороды: алканы, фенолы, нафтеновые и ароматические соединения, хлороформенные битумоиды, в том числе такие экологически опасные вещества, как полиароматические углеводороды (ПАУ). Кроме того, в нефти присутствуют серосодержащие соединения, а также металлы – ванадий, никель, кобальт [Воробьев, 2006]. Попадая в воду, нефть и составляющие ее компоненты довольно быстро претерпевают различные преобразования, подвергаясь испарению, эмульгированию, окислению, растворению, сорбированию донными осадками, аккумуляции планктонными и бентосными организмами, деструкции микроорганизмами. Эти процессы зависят как от состава и количества нефти, так и от условий в водоеме (наличия взвешенных частиц, солености, температуры, солнечного освещения и др.) [Воробьев, 2013; Немировская, 2013]. В водной среде нефть распределяется по поверхности и вглубь в толще воды, тяжелые фракции оседают на дно. Таким образом, разные фракции нефтепродуктов оказывают влияние на все группы организмов, обитающих на разных глубинах в водоеме [Коршунова, Логинов, 2019]. Наибольшую опасность для биоты представляют хорошо растворимые, трудноокисляемые нефтяные углеводороды, а также локализуемые в нижних горизонтах медленно окисляемые фракции, содержащие ПАУ [Ващенко, 2000; Воробьев, 2006].

В последнее время наращивание масштабов разведки и добычи углеводородов на акваториях Арктики и Субарктики, интенсификация их перевозки по Северному морскому пути повышают риск возникновения аварийных ситуаций, усиливают опасность неблагоприятных экологических последствий для уязвимых водных экосистем северных морей и побережья [АМАР..., 2007; Патин, 2017]. При изучении воздействия нефти и нефтепродуктов на биоту в системах биомониторинга в качестве стандартных объектов часто используют бентосных моллюсков рода *Mytilus*, и в частности мидию съедобную *Mytilus edulis* L. [Mearns et al., 1999; Cajaravilli et al., 2000; NAS..., 2003; Hylland et al., 2008; Бахмет и др., 2012]. Это определяется рядом особенностей данного вида.

Как и другие представители бентоса, мидия проявляет большую выносливость к нефтяному загрязнению по сравнению с планктонными организмами [Воробьев, 2006]. Являясь седентарным видом и фильтратором по способу питания, мидия прокачивает огромные объемы воды и может накапливать содержащиеся в воде загрязняющие вещества, что позволяет составить представление об экологическом статусе водной экосистемы. Кроме того, обитающие в приливно-отливной зоне моллюски данного вида подвергаются частой и резкой смене условий обитания, поэтому у них хорошо развиты различные механизмы адаптаций, позволяющие поддерживать функционирование организма при неблагоприятных внешних воздействиях [Бергер, 1986; Bakhmet et al., 2005; Фокина и др., 2010; Fokina et al., 2018]. Адаптации проявляются на всех уровнях биологической организации живых систем – от молекулярного до биоценотического [Немова, Высоцкая, 2004; Vorja et al., 2011]. На уровне клетки адаптивные реакции осуществляются с участием ферментных систем, выступающих катализаторами и регуляторами биохимических процессов, и в частности, комплекса кислых гидролитических ферментов, заключенных в особых внутриклеточных органеллах – лизосомах [Moore et al., 2006; Высоцкая, Немова, 2008].

Исследований, посвященных биохимическим адаптациям у обитателей северных морей в ответ на сочетанное воздействие сырой нефти и меняющихся природных условий, до настоящего времени проведено недостаточно [Turja et al., 2013; Lysenko et al., 2015; Фокина и др., 2016; Bakhmet et al., 2021]. Учитывая это, задачей настоящей работы было изучение влияния сырой нефти на активность лизосомальных ферментов в органах беломорских мидий при разной солености воды.

## Материалы и методы

**Схема эксперимента.** Эксперименты по влиянию сырой нефти на моллюсков проведены на Беломорской биологической станции «Картеш» им. О. А. Скарлато Зоологического института РАН. Мидий *Mytilus edulis* L. (1758) собирали с установок для выращивания моллюсков с глубины 2 м в бухте Круглая, губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря. Температура и соленость воды во время отбора проб составляли 8 °С и 24,2 ‰ соответственно. Место взятия моллюсков находится вдалеке от источников нефтяного загрязнения и считается относительно чистой зоной.

Мидий для экспериментов отбирали по размеру и возрасту. Использовали моллюсков с длиной раковины  $60,2 \pm 2,9$  мм и возрастом 6–7 лет. Опыты проводили в период полового покоя, поэтому пол определить было невозможно. Моллюсков содержали в аквариумах из оргстекла (объем 20 л) с аэрируемой морской водой по 25 экземпляров в каждом аквариуме. Перед началом эксперимента по воздействию нефти мидий разделяли на две группы и акклиматизировали одну из них к морской воде соленостью 25 ‰ (обычная для поверхностных вод Белого моря), вторую – к солености 15 ‰. Акклиматизацию проводили в течение 10 суток, при световом режиме 12 : 12 час (свет / темнота) и температуре воды 10 °С. Воду с более низкой соленостью (15 ‰) готовили, разбавляя природную морскую воду дистиллированной водой. Ежедневно проводили частичную (10 л) смену воды.

Для имитации разлива нефти в приливно-отливной зоне проведен следующий эксперимент. В качестве действующего вещества использовали сургутскую нефть, добываемую в ХМАО, которая в дальнейшем входит в состав Siberian Light нефти. Это сравнительно легкая нефть, плотность ее составляет 845–850 кг/м<sup>3</sup>, содержание серы около 0,57 % [Сираева, Ляпина, 2011]. Для получения нефтяной эмульсии и избегания расслоения 100 мл нефти разбавляли в 900 мл морской воды и тщательно взбалтывали в течение 10 мин. В шесть аквариумов, наполненных гравием, добавляли смесь из расчета 1, 5 и 50 мл нефти на аквариум. Затем в три аквариума добавляли морскую воду соленостью 25 ‰, а в три других – морскую воду соленостью 15 ‰. Таким образом, получали три расчетные концентрации нефти – 0,05; 0,25 и 2,5 мл/л (0,02; 0,09 и 0,85 мг/л) при солености 25 и 15 ‰. Через 24 часа по 10 л воды из каждого аквариума, содержащих нефть, добавляли в аквариумы, в которых были размещены подопытные моллюски. После чего в аквариумы с гравием добавляли чистую морскую воду, что должно имитировать приливную волну. Указанную операцию повторяли ежедневно в течение всего эксперимента. Пробы мягких тканей мидий (гепатопанкреас и жабры) брали за сутки до добавления нефти (контроль) и далее через 1, 3 и 10 суток экспозиции в содержащей нефть воде разной солености. Взятые для биохимического анализа образцы гепатопанкреаса и жабр подвергали быстрой заморозке, доставляли в лабораторию и хранили до анализа в морозильной камере (UF 240-86 E, Snijders Scientific, Нидерланды) при температуре –80 °С.

**Определение биохимических показателей.** Исследования выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». Из навесок тканей гепатопанкреаса и жабр мидий готовили 10%-е гомогенаты на 0,25 М растворе сахарозы (pH 7,4), содержащем 0,001 М ЭДТА и 0,1 % неионного детергента тритона X-100, разрушающего внутриклеточные мембраны и высвобождающего содержащиеся в лизосомах ферменты. Гомогенаты осветляли центрифугированием при 10 000 g на центрифуге с охлаждением Allegra 64R (Beckman Coulter, США). В надосадочной жидкости определяли активность шести лизосомальных ферментов (кислой фосфатазы, ДНКазы, РНКазы,  $\beta$ -глюкозидазы,  $\beta$ -галактозидазы,  $\beta$ -глюкуронидазы) и содержание белка.

При определении активности кислой фосфатазы (КФ 3.1.3.2) в качестве субстрата использовали раствор  $\beta$ -глицерофосфата натрия на ацетатном буфере (pH 4, 8) [Баррет, Хит, 1980]. Активность фермента выражали в микрограммах неорганического фосфора, образующегося в результате гидролиза, количество которого рассчитывали по реакции с хромогенным реактивом [Каховцова, Odavic, 1969]. Активность кислых нуклеаз – ДНКазы (КФ 3.1.4.6) и РНКазы (КФ 3.1.4.23) – определяли методами Покровского и Арчакова [1968] и Левицкого с соавторами [1973] соответственно. Субстратами служили растворы дезоксирибонуклеиновой кислоты (pH 5) и рибонуклеиновой кислоты (pH 5,2) в ацетатном буфере. Количество продуктов реакции гидролиза определяли спектрофотометрически при 260 нм (спектрофотометр СФ-2000, «ОКБ Спектр», Россия). Активность ферментов выражали в условных единицах  $\Delta D_{260}$ . Определение активности кислой  $\beta$ -глюкозидазы (КФ 3.2.1.21) основано на фотометрическом определении количества освободившегося в результате реакции *пара*-нитрофенола [Покровский и др., 1971]. Субстратом служил раствор *пара*-нитрофенил- $\beta$ ,D-глюкопиранозид в цитратном буфере (pH 5). Активность  $\beta$ -галактозидазы (КФ 3.2.1.23) и  $\beta$ -глюкуронидазы (КФ 3.2.1.31) выявляли методом, предложенным Барретом и Хитом [1980]. Субстратами были *пара*-нитрофенил- $\beta$ ,D-галактопиранозид натрия (pH 4) и *пара*-нитрофенил- $\beta$ ,D-глюкуронид (pH 5) в цитратном буфере. Активность гликозидаз выражали в микромолях *пара*-нитрофенола, образующегося в ходе реакции, на мг белка в час. Содержание растворимого белка в гомогенатах определяли по Лоури.

Полученные данные обработаны методами вариационной статистики и представлены в работе в виде средних значений и их ошибок. Сравнение биохимических показателей в группах исследованных моллюсков проводили с применением непараметрического критерия U Вилкоксона – Манна – Уитни [Гублер, Генкин, 1969]. Различия считали достоверными при уровне значимости  $p \leq 0,05$ .

## Результаты

Результаты исследований представлены в таблицах 1–6. Хорошо видно, что оба испытанных фактора (распреснение морской воды и воздействие нефти) оказывали существенное влияние на активность лизосомальных гидролаз. При этом и в жабрах, и в гепатопанкреасе комплекс изученных ферментов проявлял высокую чувствительность к влиянию поллютанта. Так, для активности фермента-маркера лизосом – кислой фосфатазы показано значительное возрастание

этого фермента в жабрах по мере увеличения концентрации нефти и времени выдерживания моллюсков в условиях эксперимента (табл. 1). При экспозиции 10 суток и концентрации нефти 0,25 и 2,5 мл/л (соленость 25 ‰) активность кислой фосфатазы в 9 и более раз превышала контрольные значения. Аналогичная зависимость в изменении активности наблюдалась в гепатопанкреасе, но на меньшую величину. Влияние распреснения (до 15 ‰) по сравнению с нормальной соленостью (в таблице обозначено <sup>b</sup>) сказывалось увеличением активности кислой фосфатазы до варианта с концентрацией нефти 2,5 мл/л и экспозицией 3 суток, а затем происходило снижение. В гепатопанкреасе снижение солености воды практически не вызывало резких отличий, и чаще при высокой концентрации нефти это было понижение активности фермента.

Изменение активности кислой РНКазы под влиянием нефти в жабрах при нормальной солености носило менее выраженный характер, и ее повышение было достоверным ( $p \leq 0,05$ ) только

Таблица 1. Активность кислой фосфатазы (мкг  $P_{in}$  / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 1. Acid phosphatase activity ( $\mu g P_{in}$  / mg protein per hour) in organs of mussel *M. edulis* exposed to crude oil under conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	2,81 ± 0,63	2,26 ± 0,31	
	1	1 (0,05)	2,38 ± 0,14	3,60 ± 0,67	
		5 (0,25)	3,77 ± 0,05 <sup>c</sup>	2,92 ± 0,15 <sup>b</sup>	
		50 (2,50)	6,03 ± 0,44 <sup>a,c</sup>	3,50 ± 0,30 <sup>a,b</sup>	
	3	1 (0,05)	5,51 ± 0,58 <sup>a,d</sup>	5,56 ± 0,74 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	8,32 ± 0,37 <sup>a,c,d</sup>	4,53 ± 0,50 <sup>a,b,d</sup>	
		50 (2,50)	5,73 ± 0,31 <sup>a,c</sup>	3,87 ± 0,33 <sup>a,b,c</sup>	
	10	1 (0,05)	3,81 ± 0,39 <sup>d</sup>	6,34 ± 0,21 <sup>a,b,d</sup>	
		5 (0,25)	7,29 ± 1,61 <sup>a,c,d</sup>	22,05 ± 0,84 <sup>a,b,c,d</sup>	
		50 (2,50)	5,17 ± 0,19 <sup>a,c,d</sup>	19,54 ± 0,16 <sup>a,b,c,d</sup>	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	1,24 ± 0,09	1,44 ± 0,08
		1	1 (0,05)	2,44 ± 0,03	2,29 ± 0,12 <sup>a</sup>
5 (0,25)			2,42 ± 0,14	4,30 ± 0,09 <sup>a,b,c</sup>	
50 (2,50)			2,78 ± 0,79	4,16 ± 0,38 <sup>a,c</sup>	
3		1 (0,05)	1,78 ± 0,01 <sup>d</sup>	2,89 ± 0,29 <sup>b</sup>	
		5 (0,25)	2,42 ± 0,18 <sup>a,c</sup>	2,47 ± 0,25 <sup>a,d</sup>	
		50 (2,50)	2,74 ± 0,26 <sup>a,c</sup>	3,87 ± 0,10 <sup>a,b,c</sup>	
10		1 (0,05)	2,75 ± 0,39 <sup>a,d</sup>	2,68 ± 0,40 <sup>a</sup>	
		5 (0,25)	2,36 ± 0,37 <sup>a</sup>	3,74 ± 0,27	
		50 (2,50)	2,69 ± 0,17 <sup>a</sup>	3,45 ± 0,12 <sup>a,b,c,d</sup>	

Примечание. Здесь и далее различия достоверны: <sup>a</sup> по сравнению с контролем; <sup>b</sup> в условиях различной солености; <sup>c</sup> в зависимости от концентрации нефти; <sup>d</sup> в зависимости от времени воздействия нефти; при  $p \leq 0,05$ .

Note. Hereinafter differences are significant: <sup>a</sup> compared to the control; <sup>b</sup> under conditions of different salinity; <sup>c</sup> depending on the concentration of oil; <sup>d</sup> depending on the time of exposure to oil; at  $p \leq 0.05$ .

при высоких концентрациях токсиканта и длительной экспозиции (табл. 2). При минимальной концентрации нефти (0,05 мл/л) в условиях пониженной солености происходило снижение активности этого фермента. В гепатопанкреасе наблюдалось заметное возрастание активности РНКазы под воздействием нефти по сравнению с контролем, как при нормальной солености, так и при низкой солености воды.

В отличие от этого изменения активности другой нуклеазы – ДНКазы отмечались в большем числе вариантов эксперимента (табл. 3). Самый высокий уровень активности ДНКазы выявлен в жабрах при концентрации нефти 0,25 мл/л и экспозиции 10 суток. В гепатопанкреасе присутствие нефти в среде обитания моллюсков вызывало повышение активности этого фермента в 1,5–2 раза по сравнению с контролем.

Из трех исследованных лизосомальных гликозидаз наибольшим своеобразием реакции на воздействующие факторы выделяется β-глюкозидаза (табл. 4). В жабрах при нормальной солености только в двух случаях отмечено повышение активности фермента: при минимальной концентрации нефти и экспозиции 1 сутки, а также при концентрации 0,25 мл/л и длительном сроке выдерживания мидий в

условиях нефтяного загрязнения. При распреснении повышенный в 2 раза и более уровень β-глюкозидазы в жабрах выявлен в первые сутки эксперимента ( $p \leq 0,05$ ), в большинстве других вариантов это либо небольшое повышение, либо снижение по сравнению с контролем. Та же зависимость характерна и для вариабельности активности β-глюкозидазы в гепатопанкреасе моллюсков.

Другая картина наблюдалась по изменению активности β-галактозидазы (табл. 5). Четко прослеживалась прямая зависимость возрастания активности данного фермента в жабрах по мере увеличения количества экотоксиканта и экспозиции мидий в условиях опыта. При снижении солености до 15 ‰ на ранних сроках эксперимента и небольших концентрациях нефти отмечено снижение активности β-галактозидазы в жабрах, и ее повышение начиналось с третьих суток опыта и при высоких дозах сырой нефти. Однако абсолютные величины активности фермента были значительно ниже, чем при нормальной солености. На активности фермента в гепатопанкреасе распреснение так заметно не сказывалось. В этом органе можно отметить влияние концентрации и времени поступления загрязняющего вещества в организм моллюска.

Таблица 2. Активность РНКазы ( $\Delta D_{260}$  / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 2. RNase activity ( $\Delta D_{260}$  / mg protein per hour) in the organs of *M. edulis* mussels under the influence of crude oil in conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	0,783 ± 0,134	0,976 ± 0,116	
	1	1 (0,05)	0,388 ± 0,048 <sup>a</sup>	0,641 ± 0,080 <sup>b</sup>	
		5 (0,25)	0,668 ± 0,079 <sup>c</sup>	0,639 ± 0,076	
		50 (2,50)	0,667 ± 0,067 <sup>c</sup>	1,248 ± 0,073 <sup>b,c</sup>	
	3	1 (0,05)	0,757 ± 0,148 <sup>d</sup>	0,565 ± 0,117 <sup>a</sup>	
		5 (0,25)	0,834 ± 0,211	0,856 ± 0,127	
		50 (2,50)	0,984 ± 0,085 <sup>d</sup>	1,373 ± 0,147 <sup>b,c</sup>	
	10	1 (0,05)	0,776 ± 0,072 <sup>d</sup>	1,145 ± 0,105 <sup>b,d</sup>	
		5 (0,25)	1,020 ± 0,213	2,576 ± 0,201 <sup>a,b,c,d</sup>	
		50 (2,50)	1,219 ± 0,031 <sup>a,c,d</sup>	2,625 ± 0,270 <sup>a,b,c,d</sup>	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	0,462 ± 0,093	0,497 ± 0,085
		1	1 (0,05)	0,544 ± 0,102	0,479 ± 0,016
5 (0,25)			0,536 ± 0,070	1,268 ± 0,255 <sup>a,b,c</sup>	
50 (2,50)			0,813 ± 0,028 <sup>a,c</sup>	3,060 ± 0,309 <sup>a,b,c</sup>	
3		1 (0,05)	0,467 ± 0,049	0,644 ± 0,120 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,416 ± 0,043	0,873 ± 0,082 <sup>a,b</sup>	
		50 (2,50)	0,803 ± 0,041 <sup>a,c</sup>	0,978 ± 0,101 <sup>a,b,c,d</sup>	
10		1 (0,05)	1,068 ± 0,165 <sup>a,d</sup>	1,064 ± 0,181 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	1,619 ± 0,250 <sup>a,c,d</sup>	2,164 ± 0,037 <sup>a,c,d</sup>	
		50 (2,50)	1,649 ± 0,099 <sup>a,c,d</sup>	1,818 ± 0,058 <sup>a,c,d</sup>	

Таблица 3. Активность ДНКазы ( $\Delta D_{260}$  / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 3. DNase activity ( $\Delta D_{260}$  / mg protein per hour) in the organs of *M. edulis* mussels under the influence of crude oil in conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	1,000 ± 0,199	0,675 ± 0,119 <sup>b</sup>	
	1	1 (0,05)	0,467 ± 0,015 <sup>a</sup>	1,640 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	
		5 (0,25)	2,309 ± 0,368 <sup>c</sup>	0,441 ± 0,025 <sup>a,b,c</sup>	
		50 (2,50)	2,408 ± 0,299 <sup>c</sup>	0,659 ± 0,107 <sup>b,c</sup>	
	3	1 (0,05)	0,743 ± 0,080 <sup>a,d</sup>	0,997 ± 0,083 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,798 ± 0,213 <sup>d</sup>	0,641 ± 0,093 <sup>c,d</sup>	
		50 (2,50)	1,771 ± 0,076 <sup>a,d</sup>	1,158 ± 0,190 <sup>a,b,d</sup>	
	10	1 (0,05)	1,172 ± 0,088 <sup>d</sup>	1,528 ± 0,045 <sup>a,b,d</sup>	
		5 (0,25)	1,966 ± 0,375 <sup>a,d</sup>	6,533 ± 1,122 <sup>a,d</sup>	
		50 (2,50)	0,913 ± 0,053 <sup>c,d</sup>	2,235 ± 0,325 <sup>a,b,c,d</sup>	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	0,222 ± 0,046	0,245 ± 0,015
		1	1 (0,05)	0,424 ± 0,020	0,320 ± 0,031 <sup>b</sup>
5 (0,25)			0,303 ± 0,020 <sup>c</sup>	0,856 ± 0,199 <sup>a,b,c</sup>	
50 (2,50)			0,441 ± 0,104	0,708 ± 0,179 <sup>a,c</sup>	
3		1 (0,05)	0,295 ± 0,059	0,219 ± 0,025 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,311 ± 0,033	0,357 ± 0,079 <sup>d</sup>	
		50 (2,50)	0,528 ± 0,065 <sup>a,c</sup>	0,297 ± 0,006 <sup>a,b,c,d</sup>	
10		1 (0,05)	0,300 ± 0,019 <sup>d</sup>	0,402 ± 0,030 <sup>a,b,d</sup>	
		5 (0,25)	0,358 ± 0,025 <sup>a,c</sup>	0,583 ± 0,026 <sup>a</sup>	
		50 (2,50)	0,476 ± 0,028 <sup>a,c</sup>	0,529 ± 0,021 <sup>a,c,d</sup>	

Таблица 4. Активность  $\beta$ -глюкозидазы (мкМ пара-нитрофенола / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 4. B-glucosidase activity ( $\mu$ Mol *para*-nitrophenol / mg protein per hour) in the organs of *M. edulis* mussels in conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	0,048 ± 0,004	0,073 ± 0,012 <sup>b</sup>	
	1	1 (0,05)	0,066 ± 0,009 <sup>a</sup>	0,173 ± 0,034 <sup>a,b</sup>	
		5 (0,25)	0,133 ± 0,036 <sup>a</sup>	0,099 ± 0,012 <sup>c</sup>	
		50 (2,50)	0,121 ± 0,024 <sup>a,c</sup>	0,043 ± 0,010 <sup>b,c</sup>	
	3	1 (0,05)	0,047 ± 0,006	0,037 ± 0,013 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,032 ± 0,005 <sup>a,c,d</sup>	0,052 ± 0,011 <sup>b,d</sup>	
		50 (2,50)	0,072 ± 0,006 <sup>a,c,d</sup>	0,045 ± 0,006 <sup>a,b</sup>	
	10	1 (0,05)	0,051 ± 0,006	0,062 ± 0,008 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,103 ± 0,027 <sup>a,c,d</sup>	0,211 ± 0,012 <sup>a,b,d</sup>	
		50 (2,50)	0,037 ± 0,005 <sup>c,d</sup>	0,050 ± 0,016 <sup>a,d</sup>	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	0,307 ± 0,031	0,298 ± 0,012
		1	1 (0,05)	0,460 ± 0,035 <sup>a</sup>	0,311 ± 0,016 <sup>b</sup>
5 (0,25)			0,303 ± 0,009 <sup>c</sup>	0,473 ± 0,030 <sup>a,b,c</sup>	
50 (2,50)			0,271 ± 0,022 <sup>c</sup>	0,440 ± 0,054 <sup>a,b</sup>	
3		1 (0,05)	0,276 ± 0,045 <sup>d</sup>	0,223 ± 0,027 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	0,192 ± 0,020 <sup>d</sup>	0,253 ± 0,026 <sup>d</sup>	
		50 (2,50)	0,375 ± 0,023 <sup>c,d</sup>	0,430 ± 0,015 <sup>a,b,c</sup>	
10		1 (0,05)	0,278 ± 0,023 <sup>d</sup>	0,303 ± 0,025 <sup>d</sup>	
		5 (0,25)	0,366 ± 0,028 <sup>c,d</sup>	0,249 ± 0,017 <sup>a,b,d</sup>	
		50 (2,50)	0,180 ± 0,025 <sup>c,d</sup>	0,179 ± 0,006 <sup>a,c,d</sup>	



Таблица 5. Активность β-галактозидазы (мкМ пара-нитрофенола / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 5. B-galactosidase activity ( $\mu\text{Mol}$  para-nitrophenol / mg protein per hour) in the organs of *M. edulis* mussels in conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	0,210 ± 0,014	0,174 ± 0,033 <sup>b</sup>	
	1	1 (0,05)	0,199 ± 0,022 <sup>a</sup>	0,315 ± 0,053 <sup>a,b</sup>	
		5 (0,25)	0,188 ± 0,007 <sup>a</sup>	0,201 ± 0,036	
		50 (2,50)	0,295 ± 0,029 <sup>c</sup>	0,249 ± 0,005 <sup>a</sup>	
	3	1 (0,05)	0,221 ± 0,032	0,260 ± 0,007 <sup>a</sup>	
		5 (0,25)	0,373 ± 0,050 <sup>a,c,d</sup>	0,257 ± 0,049	
		50 (2,50)	0,632 ± 0,062 <sup>a,c,d</sup>	0,291 ± 0,049 <sup>b</sup>	
	10	1 (0,05)	0,498 ± 0,044 <sup>a,d</sup>	0,523 ± 0,036 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	0,584 ± 0,139 <sup>a,d</sup>	1,296 ± 0,055 <sup>a,d</sup>	
		50 (2,50)	0,326 ± 0,021 <sup>a,c,d</sup>	0,905 ± 0,141 <sup>a,b,c,d</sup>	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	0,412 ± 0,021	0,447 ± 0,027
		1	1 (0,05)	0,552 ± 0,032	0,343 ± 0,016 <sup>a,b</sup>
5 (0,25)			0,267 ± 0,018 <sup>a,c</sup>	0,619 ± 0,048 <sup>a,b,c</sup>	
50 (2,50)			0,668 ± 0,035 <sup>c</sup>	1,223 ± 0,041 <sup>a,b,c</sup>	
3		1 (0,05)	0,643 ± 0,092	0,793 ± 0,049 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	0,397 ± 0,059 <sup>c,d</sup>	0,645 ± 0,065 <sup>a,b</sup>	
		50 (2,50)	0,847 ± 0,073 <sup>a,c</sup>	0,993 ± 0,020 <sup>a,b,c,d</sup>	
10		1 (0,05)	0,926 ± 0,060 <sup>a,d</sup>	0,823 ± 0,095 <sup>a,d</sup>	
		5 (0,25)	0,816 ± 0,076 <sup>a,d</sup>	0,921 ± 0,047 <sup>a,d</sup>	
		50 (2,50)	0,598 ± 0,103 <sup>c,d</sup>	0,697 ± 0,063 <sup>a,c,d</sup>	

Та же зависимость от дозы действующего вещества и времени его воздействия прослеживалась и в активности β-глюкуронидазы при нормальной солености в обоих органах (табл. 6). При этом в жабрах происходила 12-кратная по сравнению с контролем активизация фермента при концентрации нефти 0,25 мл/л и 10-суточной экспозиции. В гепатопанкреасе по мере накопления нефти в организме моллюсков отмечалось повышение активности этой гликозидазы лишь в 3–4 раза. Снижение солености в жабрах вызывало угнетение активности β-глюкуронидазы на ранних сроках эксперимента, а затем ее уровень мало отличался от контроля. В гепатопанкреасе достоверное увеличение активности этого фермента наблюдалось при высокой концентрации нефти и экспозиции 3 суток.

## Обсуждение

Согласно современным представлениям, ответная реакция организма на множество воздействующих на него экстремальных и субэкстремальных факторов, как правило, однотипна, то есть неспецифична. На клеточном уровне эта реакция проявляется определенными физико-химическими и биохимическими изменениями, которые обозначаются как неспецифи-

ческий адаптационный синдром [Панин, 1983, цит. по: Немова, Высоцкая, 2004]. Неспецифические реакции в ответ на действие раздражителя направлены на адаптацию организма к меняющимся условиям существования. В многочисленных исследованиях было продемонстрировано, что, несмотря на значительное сходство, каждая стрессовая реакция имеет свое лицо. Необходимость иметь развернутую картину физиолого-биохимических изменений ответной реакции организмов на действие природных и токсикогенных факторов привела к созданию различных интегральных индексов и систем эколого-биохимического тестирования и мониторинга водоемов [Немова, Высоцкая, 2004; Viarengo et al., 2007; Marigómez et al., 2013]. Указанные индексы и системы включают биомаркеры, чувствительные к стрессу на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровне, и характеризуются разными профилями в ходе развития реакции. Весьма чувствительными и часто используемыми показателями являются лабильность лизосомальных мембран и активность ферментов лизосом [Cajaraville et al., 2000; Высоцкая, Немова, 2008; Vorja et al., 2011; Turja et al., 2013]. Лизосомы выполняют в организме множество важных функций, в основе которых лежит процесс

Таблица 6. Активность β-глюкуронидазы (мкМ пара-нитрофенола / мг белка в час) в органах мидий *M. edulis* под воздействием сырой нефти в условиях разной солености ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Table 6. B-glucuronidase activity ( $\mu\text{Mol}$  para-nitrophenol / mg protein per hour) in the organs of *M. edulis* mussels in conditions of different salinity ( $M \pm m$ ,  $n = 4$ )

Органы Organs	Экспозиция, сут Exposure, days	Количество внесенной нефти, мл (мл/л) The amount of oil applied, ml (ml/L)	Соленость, ‰ Salinity, ‰		
			15	25	
Жабры Gills	Контроль Control	0	$0,103 \pm 0,020$	$0,041 \pm 0,004^b$	
	1	1 (0,05)	$0,061 \pm 0,009^a$	$0,059 \pm 0,011$	
		5 (0,25)	$0,051 \pm 0,012^a$	$0,064 \pm 0,013$	
		50 (2,50)	$0,122 \pm 0,026$	$0,124 \pm 0,008^{a,c}$	
	3	1 (0,05)	$0,092 \pm 0,006^{a,d}$	$0,160 \pm 0,032^{a,b,d}$	
		5 (0,25)	$0,152 \pm 0,048^d$	$0,133 \pm 0,008^{a,d}$	
		50 (2,50)	$0,115 \pm 0,010$	$0,149 \pm 0,029^a$	
	10	1 (0,05)	$0,099 \pm 0,008^d$	$0,154 \pm 0,030^{a,d}$	
		5 (0,25)	$0,143 \pm 0,035^d$	$0,492 \pm 0,052^{a,d}$	
		50 (2,50)	$0,130 \pm 0,018$	$0,275 \pm 0,044^{a,b,c,d}$	
	Гепато- панкреас Hepato- pancreas	Контроль Control	0	$0,097 \pm 0,023$	$0,094 \pm 0,023^b$
		1	1 (0,05)	$0,157 \pm 0,003$	$0,106 \pm 0,008^b$
5 (0,25)			$0,057 \pm 0,010^{a,c}$	$0,144 \pm 0,002^{a,b,c}$	
50 (2,50)			$0,161 \pm 0,028^c$	$0,244 \pm 0,026^{a,b,c}$	
3		1 (0,05)	$0,149 \pm 0,014$	$0,167 \pm 0,024$	
		5 (0,25)	$0,090 \pm 0,004^{c,d}$	$0,224 \pm 0,030^{a,b,d}$	
		50 (2,50)	$0,220 \pm 0,031^{a,c}$	$0,407 \pm 0,012^{a,b,c,d}$	
10		1 (0,05)	$0,143 \pm 0,017$	$0,256 \pm 0,017^{a,d}$	
		5 (0,25)	$0,120 \pm 0,024^d$	$0,290 \pm 0,016^{a,d}$	
		50 (2,50)	$0,081 \pm 0,013^{c,d}$	$0,078 \pm 0,006^{c,d}$	

гидролитического расщепления практически всех компонентов, из которых построена живая материя. У мидий лизосомы участвуют во внутриклеточном и внеклеточном пищеварении, защите от патогенов и ксенобиотиков [Cajaraville, Pal, 1995; Burgos-Aceves, Faggio, 2017]. Лизосомальная ферментная система представляет «вторую линию защиты» после ферментов детоксикации и трансформации различных токсикантов [Moore et al., 2007; Moore, 2008; Lysenko et al., 2015; Turja et al., 2020].

Выявленный в настоящей работе высокий уровень активности кислой фосфатазы в жабрах и гепатопанкреасе мидий под влиянием сырой нефти свидетельствует о значительном повышении процессов образования лизосомальных структур в органах экспериментальных групп моллюсков. При этом показана зависимость активации лизосомальных гидролаз от концентрации токсиканта и времени его воздействия. Это хорошо согласуется с известными фактами о значительном накоплении нефти и нефтепродуктов в органах мидий и длительном сохранении их в теле двустворчатых моллюсков [Щека-турина, Миронов, 1987; Vaussant et al., 2001]. Дестабилизация лизосомальных мембран и другие нарушения лизосомальных структур обнаруживались у представителей биоты морско-

го побережья в Бискайском заливе в течение нескольких лет после разлива нефтепродуктов, произошедшего в результате масштабной катастрофы с танкером «Prestige» в этой акватории [Izagirre, Marigómez, 2009; Garmendia et al., 2011]. Следует отметить, что двустворчатые моллюски обладают обширным набором защитных механизмов от воздействия патогенных и агрессивных факторов среды [De la Ballina et al., 2022]. Определяющая роль в защитных реакциях организма моллюсков принадлежит циркулирующим клеткам гемолимфы – гемоцитам. Мидии, как и другие двустворчатые моллюски, имеют незамкнутую систему кровообращения. Гемолимфа, выходя из открытых концов артерии, омывает все органы и, прежде чем вернуться к сердцу, проходит через жабры. Гемоциты содержат большое число различных ферментов, в том числе лизосомальных гидролаз, основной функцией этих клеток является фагоцитоз [Cajaraville, Pal, 1995]. Жабры двустворчатых моллюсков кроме дыхательной функции выполняют определенную роль в сортировке пищевых веществ, поступающих вместе с несъедобными компонентами в процессе фильтрации. Таким образом, в жабрах аккумулируются различные загрязнители, в том числе нефтяные углеводороды [Livingstone, Pipe, 1992].

Показано, что жабры мидий обладают высокой чувствительностью к действию экотоксикантов. Экспериментально установлено, что негативная реакция жаберных тканей на нефтяные углеводороды в 3 раза выше, чем гепатопанкреаса [Дивавин и др., 1989]. Это объясняется тем, что жабры моллюсков обладают тонкой полифункциональной структурой и первыми вступают в непосредственный контакт с загрязнителями, которые оказывают повреждающее воздействие на ткани жаберного аппарата и тем самым препятствуют их полноценному функционированию. Выше отмечалось, что в состав сырой нефти входят сотни органических и неорганических компонентов, то есть нефть – это сложный групповой токсикант переменного состава [Патин, 2017]. Проходя через организм мидий, нефтяные углеводороды претерпевают гораздо более глубокие изменения, чем те трансформации, которые происходят с ними в морской воде [Dyrynda et al., 2000; Воробьев, 2006; Turja et al., 2013]. Содержащиеся в нефти компоненты вызывают у водных организмов многочисленные нарушения газового и фильтрационного процессов, изменения дыхательного и сердечного ритмов. Под влиянием нефти отмечены нарушения в строении эпителиальной ткани жабр, кишечника и почечного мешка, наблюдаются очаги некроза в этих тканях [Клишин и др., 2016; Bakhmet et al., 2021]. Продукты окисления нефтепродуктов оказывают дестабилизирующее воздействие на внутриклеточные мембранные структуры, вызывают макромолекулярные повреждения белков и ДНК [Hylland et al., 2008; Fokina et al., 2014; Lysenko et al., 2015; Turja et al., 2020].

В ликвидации очагов повреждения активное участие принимают лизосомы и содержащиеся в них кислые гидролазы [Высоцкая, Немова, 2008]. В процессе индуцированной нефтью и нефтепродуктами аутофагии образуются продукты гидролиза поврежденных тканей, оргanelл и макромолекул, которые могут быть использованы для синтеза новых, необходимых для восстановления организму соединений и структур [Moore et al., 2006, 2007]. Не поддающиеся расщеплению остатки экзоцитируются из клетки и выводятся из организма или откладываются в виде остаточных телец. О включении данного защитного механизма под воздействием сырой нефти у мидий свидетельствуют результаты настоящей работы о значительном повышении активности кислой ДНКазы в жабрах и гепатопанкреасе, особенно в вариантах опыта с высоким содержанием нефти в среде обитания и длительной экспозицией. Аналогичные данные получены ранее при изучении влияния

дизельного топлива на активность ДНКазы в тканях моллюсков [Скидченко и др., 2012], а также в работе Лысенко с соавторами [Lysenko et al., 2015] о гиперактивации лизосомальных протеолитических ферментов в органах мидий *M. edulis* под влиянием сырой нефти.

Другой защитный механизм у моллюсков, подвергшихся воздействию сырой нефти, проявлялся в ярко выраженной реакции лизосомальных гликозидаз. Активность  $\beta$ -глюкуронидазы и  $\beta$ -галактозидазы многократно возрастала при высоких концентрациях токсиканта и в гепатопанкреасе, и в жабрах. Как и другие гликозидазы,  $\beta$ -глюкуронидаза, кроме реакций гидролиза осуществляет процесс трансгликозирования. Основным субстратом  $\beta$ -глюкуронидазы являются гликозаминогликаны клеточных мембран и межклеточного матрикса. Образующаяся в результате реакции глюкуроновая кислота переносится на гидрофобные ксенобиотики и эндобиотики, накапливающиеся в органах и тканях. Продукты конъюгации переходят в растворимую форму, становятся менее токсичными и выводятся из организма. Можно предположить, что такой путь используется для удаления из организма мидий некоторых компонентов нефтяного загрязнения, а также возникших в тканях материалов в результате повреждающего воздействия экотоксиканта. Основной ролью лизосомальной  $\beta$ -галактозидазы является ее участие в метаболизме регуляторных галактозосодержащих гликолипидов и протеогликанов, в том числе при адаптациях к изменяющейся экологической обстановке [Winchester, 2005; Naz et al., 2013].

Распреснение более существенно сказывалось на активности лизосомального аппарата в жабрах, чем в гепатопанкреасе. Наиболее заметно снижалась активность кислой фосфатазы в жабрах при высокой концентрации нефти и экспозиции 10 суток. Активность РНКазы в жабрах в условиях пониженной солености почти во всех вариантах опыта была ниже, чем при нормальной солености, что свидетельствует о снижении биосинтетических процессов в данном органе. Это подтверждает полученные ранее данные об обратимом угнетении синтеза белка и РНК в клетках жабр и гепатопанкреаса при снижении солености [Berger, Kharazova, 1997]. Испытанное в настоящем исследовании понижение солености до 15 ‰ не является критичным для *M. edulis*, поскольку они обладают особыми механизмами поддержания объема клетки при изменении солености в интервале от 12–14 до 40 ‰ [Бергер, 1986; Фокина и др., 2010]. При выходе за указанные пределы включаются другие механизмы

адаптации, такие как изолирующий рефлекс. Было показано, что снижение солености до 5 ‰ у беломорских мидий вызывало значительное повышение активности РНКазы и кислой фосфатазы [Высоцкая, Немова, 2008].

При пониженной солености (15 ‰) в жабрах активность ДНКазы, β-галактозидазы и β-глюкуронидазы была более низкой, чем при солености 25 ‰. Это позволяет сделать вывод о снижении защитной и регуляторной функций лизосомальной ферментной системы при совместном воздействии низкой солености и сырой нефти. В гепатопанкреасе отмечена меньшая зависимость защитной функции лизосом от снижения солености, более выраженным в этом органе был эффект концентрации и времени воздействия экотоксиканта.

## Заключение

Проведенные исследования подтвердили ключевую роль лизосомального аппарата в поддержании клеточного гомеостаза и осуществлении адаптивных реакций мидий при воздействии изменяющихся факторов среды и экотоксикантов. Показана высокая чувствительность жаберных структур и гепатопанкреаса *M. edulis* к наличию сырой нефти в среде обитания. Активность лизосомальных гидролаз значительно возрастала по мере накопления токсикантов в органах моллюсков. В жабрах при нормальной солености (25 ‰) особенно заметно повышалась активность кислой фосфатазы, ДНКазы, β-галактозидазы и β-глюкуронидазы. В гепатопанкреасе отмечена та же зависимость в изменении активности ферментов, но на меньшую величину. Это свидетельствует о появлении большого числа лизосом в местах накопления нефти и нефтепродуктов, что позволяет гепатопанкреасу и жабрам осуществлять специфичные для них функции по пищеварению, иммунитету и другие, а также по реутилизации поврежденных токсикантом органелл, тканей и макромолекул, включая ДНК, путем аутофагии. Значительное повышение активности β-глюкуронидазы в ответ на нефтяное загрязнение позволяет предположить участие этого фермента в детоксикации некоторых компонентов нефти посредством реакции конъюгации с глюкуроновой кислотой и выведении их из организма в виде глюкуронидов. Совместное воздействие распреснения (до 15 ‰) и нефтяного загрязнения несколько снижало защитные функции лизосомального аппарата мидий, что было особенно заметно при высоких концентрациях нефти и длительной экспозиции в условиях интоксикации.

Таким образом, в настоящем исследовании продемонстрировано активное участие ферментного комплекса лизосом жабр и гепатопанкреаса беломорских мидий в адаптивных реакциях к совместному влиянию нефтяного загрязнения и пониженной солености морской воды. Компенсаторные изменения в активности лизосомальных гидролаз направлены на утилизацию, трансформацию и выведение из организма нефтяных компонентов, ликвидацию поврежденных воздействием токсиканта структур и макромолекул, а также обеспечение жизнедеятельности организма в сложившихся условиях экологического стресса.

*Авторы благодарят руководство и сотрудников Беломорской биологической станции «Картеш» ЗИН РАН за предоставленную возможность проводить исследования и за помощь в постановке экспериментов, а также искренне признательны Е. А. Буэй за помощь в проведении аналитических работ.*

## Литература

- Баррет А. Дж., Хит М. Ф. Лизосомальные ферменты // Лизосомы. Методы исследования. М.: Мир, 1980. С. 25–56.
- Бахмет И. Н., Фокина Н. Н., Нефедова З. А., Руоколайнен Т. Р., Немова Н. Н. Мидия *Mytilus edulis* L. Белого моря как биоиндикатор при воздействии растворенных нефтепродуктов // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. № 2. С. 38–46.
- Бергер В. Я. Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды. Л.: Наука, 1986. 214 с.
- Ващенко М. А. Загрязнение залива Петра Великого Японского моря и его биологические последствия // Биология моря. 2000. Т. 26, № 3. С. 149–159.
- Воробьев Д. С. Влияние нефти и нефтепродуктов на макрозообентос // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 3. С. 42–45.
- Воробьев Д. С. Биологические основы очистки донных отложений водных объектов от нефти и нефтепродуктов: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Томск, 2013. 46 с.
- Высоцкая Р. У., Немова Н. Н. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука, 2008. 284 с.
- Гублер Е. В., Генкин А. А. Применение критериев непараметрической статистики для оценки различий двух групп наблюдений в медико-биологических исследованиях. М.: Медицина, 1969. 29 с.
- Дивавин И. А., Копытов Ю. П., Белойваненко В. Н. Обменные процессы в тканях мидий в период адаптации к углеводородной интоксикации и изменениям условий среды обитания // Известия АН СССР. Серия биологическая. 1989. № 2. С. 204–214.
- Клишин А. Ю., Каниева Н. А., Баджаева О. В., Федорова Н. А. Нарушения органов и тканей моллюсков рода *Unio* под воздействием нефти // Труды ВНИРО. 2016. Т. 162. С. 82–86.

Коршунова Т. Ю., Логинов О. Н. Нефтяное загрязнение водной среды: особенности, влияние на различные объекты гидросферы, основные методы очистки // Экобиотех. 2019. Т. 2, № 2. С. 157–174. doi: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174

Левицкий А. П., Барабаш Р. Д., Коновец В. М. Сезонные особенности активности рибонуклеазы и  $\alpha$ -амилазы слюны и слюнных желез у крыс линии Вистар // Биохимическая эволюция. Л.: Наука, 1973. С. 192–195.

Немировская И. А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.

Немова Н. Н., Высоцкая Р. У. Биохимическая индикация состояния рыб. М.: Наука, 2004. 216 с.

Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х томах. Т. 1. Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.

Покровский А. А., Арчаков А. И. Методы разделения и ферментной идентификации субклеточных фракций // Современные методы в биохимии. М.: Медицина, 1968. С. 5–59.

Покровский А. А., Кравченко Л. В., Тутельян В. А. Исследование активности ферментов лизосом при действии афлатоксина и митомицина С // Биохимия. 1971. Т. 36, вып. 4. С. 690–696.

Сираева И. Н., Ляпина Н. К. Сернистые соединения нефтей различного типа // Башкирский химический журнал. 2011. Т. 18, № 1. С. 135–139.

Скидченко В. С., Высоцкая Р. У., Немова Н. Н. Спектр изоформ кислой дезоксирибонуклеазы в тканях мидий *Mytilus edulis* в условиях модельной интоксикации нефтепродуктами // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. № 2. С. 131–138.

Фокина Н. Н., Бахмет И. Н., Немова Н. Н. Совместное влияние нефти и пониженной солёности морской воды на липидный состав гепатопанкреаса беломорских мидий *Mytilus edulis* // Труды Зоологического института РАН. 2016. Т. 320, № 3. С. 357–366.

Фокина Н. Н., Нефедова З. А., Немова Н. Н. Липидный состав мидий *Mytilus edulis* L. Белого моря. Влияние некоторых факторов среды обитания. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 243 с.

Щекатурина Т. Л., Миронов О. Г. Аккумуляция углеводородов нефти двустворчатыми моллюсками *Mytilus galloprovincialis* L. // Гидробиологический журнал. 1987. Т. 23, № 2. С. 71–76.

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Arctic Oil and Gas. Oslo: Norway, 2007. 57 p.

Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V. The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2005. Vol. 318, no. 2. P. 121–126. doi: 10.1016/j.jembe.2004.11.23

Bakhmet I. N., Fokina N. N., Ruokolainen T. R. Changes of heart rate and lipid composition in *Mytilus edulis* and *Modiolus modiolus* caused by crude oil pollution and low salinity effects // Xenobiotics. 2021. Vol. 11. P. 46–60. doi: 10.3390/jox11020004

Baessant T., Sanni S., Jonsson G., Skadsheim A., Børseth J. F. Bioaccumulation of polycyclic aromatic compounds: 1. Bioconcentration in two marine species and in semipermeable membrane devices during chronic

exposure to dispersed crude oil // Environ. Toxicol. Chem. 2001. Vol. 20, no. 6. P. 1175–1184.

Berger V. Ja., Kharazova A. D. Mechanisms of salinity adaptations in marine mollusks // Hydrobiol. 1997. Vol. 305. P. 115–126. doi: 10.1023/A:1003023322263

Borja A., Belzunce M. E., Garmendia J. M., Rodriguez J. G., Solaun O., Zorita I. Impact of pollutants on coastal and benthic marine communities // Ecological impacts of toxic chemicals. 2011. Bentham Science Publisher Ltd. P. 165–186. doi: 10.2174/978160805121211101010165

Burgos-Aceves M. A., Faggio C. An approach to the study of the immunity functions of bivalve haemocytes: Physiology and molecular aspects // Fish and Shellfish Immunology. 2017. Vol. 67. P. 513–517. doi: 10.1016/j.fsi.2017.06.042

Cajaraville M. P., Pal S. G. Morphofunctional study of the haemocytes of the bivalve mollusc *Mytilus galloprovincialis* emphasis on the endolysosomal compartment // Cell Struct. Funct. 1995. Vol. 20, no. 5. P. 355–367. doi: 10.1247/csf.20.355

Cajaraville M. P., Bebianno M. J., Blasco J., Porte C., Sarasquete C., Viarengo A. The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach // Sci. Total Environ. 2000. Vol. 247, no. 2–3. P. 295–311. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00499-4

De la Ballina N. R., Maresca F., Cao A., Villalba A. Bivalve haemocyte subpopulations: a review // Front. Immunol. 2022. Vol. 13: 826255. doi: 10.3389/fimmu.2022.826255

Dyrynda E. A., Law R. J., Dyrynda P. E. J., Kelly C. A., Pipe R. K., Ratcliffe N. A. Changes in immune parameters of natural mussel *Mytilus edulis* populations following a major oil spill (“Sea Empress”, Wales, UK) // Marine Ecology Progress Series. 2000. Vol. 206. P. 155–170. doi: 10.3354/meps206155

Fokina N. N., Ruokolainen T. R., Nemova N. N. The effect of intertidal habitat on seasonal lipid composition changes in blue mussels, *Mytilus edulis* L., from the White Sea // Polar Record. 2018. Vol. 54, iss. 2. P. 133–151. doi: 10.1017/S0032247418000293

Fokina N. N., Bakhmet I. N., Shklyarevich G. A., Nemova N. N. Effect of seawater desalination and oil pollution on the lipid composition of blue mussels *Mytilus edulis* L. from the White Sea // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2014. Vol. 110. P. 103–109. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.08.010

Garmendia L., Izagirre U., Cajaraville M. P., Marigómez I. Application of a battery of biomarkers in mussel digestive gland to assess long-term effects of the Prestige oil spill in Galicia and Bay of Biscay: lysosomal responses // J. Environ. Monit. 2011. Vol. 13. P. 901–914.

Hylland K., Tollefsen K., Ruus A., Jonsson G., Sundt R. C., Sanni S., Utvik T. I. R., Johnsen S., Nilsen I., Pinturier L., Balk L., Barsiene J., Marigomez I., Feist S. W., Børseth J. F. Water column monitoring near oil installations in the North Sea 2001–2004 // Mar. Pollut. Bull. 2008. Vol. 56, iss. 3. P. 414–429. doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.11.004

Izagirre U., Marigómez I. Lysosomal enlargement and lysosomal membrane destabilisation in mussel

digestive cells measured by an integrative index // *Environ. Pollut.* 2009. Vol. 157. P. 1544–1553.

*Kahovcova J., Odavic R.* A simple method of the quantitative analysis of phospholipids separated by thin layer chromatography // *J. Chromatogr.* 1969. Vol. 40. P. 90–96.

*Livingstone D. R., Pipe R. K.* Mussel and environmental contaminants: molecular and cellular aspects / Ed. E. Gosling. The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics and culture. Amsterdam; New York: Elsevier, 1992. P. 425–456.

*Lysenko L., Sukhovskaya I., Borvinskaya E., Krupnova M., Kantserova N., Bakhmet I., Nemova N.* Detoxication and protein quality control markers in the mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus) exposed to crude oil: salinity-induced modulation // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2015. doi: 10.1016/j.ecss.2015.10.006

*Marigómez I., Garmendia L., Soto M., Orbea A., Izagirre U., Cajaraville M. P.* Marine ecosystem health status assessment through integrative biomarker indices: a comparative study after the Prestige oil spill “Mussel Watch” // *Ecotoxicology*. 2013. Vol. 22. P. 486–505. doi: 10.1007/s10646-013-1042-4

*Mearns A. J., O'Connor Th. P., Lauenstein G. G.* Relevance of the National “Mussel Watch” program to seafood fisheries management tissues during oil spill response // *Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference*. Washington, D.C.: API, 1999.

*Moore M. N.* Autophagy as second level protective process in conferring resistance to environmentally induced oxidative stress // *Autophagy*. 2008. Vol. 4, no. 2. P. 254–256. doi: 10.4161/auto.5528

*Moore M. N., Allen J. I., Sommerfield P. J.* Autophagy: Role in surviving environmental stress // *Mar. Environ. Res.* 2006. Vol. 62. P. S420–425.

*Moore M. N., Viarengo A., Donkin P., Hawkins A. J.* Autophagic and lysosomal reactions to stress in the hepatopancreas of blue mussels // *Aquat. Toxicol.* 2007. Vol. 84. P. 80–91. doi: 10.1016/j.aquatox.2007.06.007

NAS (National Academy of Sciences). Oil in the sea III: Inputs fates and effects. National Research Council. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2003. 265 p.

*Naz H., Islam A., Waheed A., Sly W. S., Ahmad F., Hassan I.* Human  $\beta$ -glucuronidase: structure, function, and application in enzyme replacement therapy // *Rejuvenation Res.* 2013. Vol. 16, iss. 5. P. 352–363.

*Turja R., Sanni S., Stankevičiūtė M., Butrimavičienė L., Devier M.-H., Budzinski H., Lehtonen K. K.* Biomarker responses and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus trossulus* and *Gammarus oceanicus* during exposure to crude oil // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 15498–15514. doi: 10.1007/s11356-020-07946-7

*Turja R., Sourinsuo A., Budzinski H., Devier M. H., Lehtonen K. K.* Biomarker responses and accumulation of hazardous substances in mussels (*Mytilus trossulus*) transplanted along a pollution gradient close to an oil terminal in Gulf of Finland (Baltic Sea) // *Compar. Biochem. Physiol. Part C. Toxicology and Pharmacology*. 2013. Vol. 157, iss. 1. P. 80–92.

*Viarengo A., Lowe D., Bolognesi C., Fabbri E., Köehler A.* The use of biomarkers in biomonitoring: a

2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms // *Comp. Biochem. Physiol.* 2007. Vol. 146. P. 281–300.

*Winchester B.* Lysosomal metabolism of glycoproteins // *Glycobiol.* 2005. Vol. 15, no. 6. P. 1R–15R. doi: 10.1093/glycob/cwi041

## References

AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme). Arctic Oil and Gas. Oslo: Norway; 2007. 57 p.

*Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V.* The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2005;318(2):121–126. doi: 10.1016/j.jembe.2004.11.23

*Bakhmet I. N., Fokina N. N., Ruokolainen T. R.* Changes of heart rate and lipid composition in *Mytilus edulis* and *Modiolus modiolus* caused by crude oil pollution and low salinity effects. *Xenobiotics*. 2021;11: 46–60. doi: 10.3390/jox11020004

*Bakhmet I. N., Fokina N. N., Nefyodova Z. A., Ruokolainen T. R., Nemova N. N.* Blue mussels *Mytilus edulis* L. in the White Sea as bioindicators under diluted oil impact. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2012;2:38–46. (In Russ.)

*Barrett A. J., Heat M. F.* Lysosomal enzymes. *J. T. Dingle (ed.)*. Lysosomes, a Laboratory Handbook. Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland Publ. Comp.; 1977.

*Baussant T., Sanni S., Jonsson G., Skadsheim A., Børseth J. F.* Bioaccumulation of polycyclic aromatic compounds: 1. Bioconcentration in two marine species and in semipermeable membrane devices during chronic exposure to dispersed crude oil. *Environ. Toxicol. Chem.* 2001;20(6):1175–1184.

*Berger V. Ya.* Adaptations of marine mollusks to changes in the salinity of the environment. Leningrad: Nauka; 1986. 214 p. (In Russ.)

*Berger V. Ya., Kharazova A. D.* Mechanisms of salinity adaptations in marine mollusks. *Hydrobiol.* 1997;305:115–126. doi: 10.1023/A:1003023322263

*Borja A., Belzunce M. E., Garmendia J. M., Rodriguez J. G., Solaun O., Zorita I.* Impact of pollutants on coastal and benthic marine communities. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals*. Bentham Science Publ. Ltd.; 2011. P. 165–186. doi: 10.2174/978160805121211101010165

*Burgos-Aceves M. A., Faggio C.* An approach to the study of the immunity functions of bivalve haemocytes: Physiology and molecular aspects. *Fish and Shellfish Immunology*. 2017;67:513–517. doi: 10.1016/j.fsi.2017.06.042

*Cajaraville M. P., Pal S. G.* Morphofunctional study of the haemocytes of the bivalve mollusc *Mytilus galloprovincialis* emphasis on the endolysosomal compartment. *Cell Struct. Funct.* 1995;20(5):355–367. doi: 10.1247/csf.20.355

*Cajaraville M. P., Bebianno M. J., Blasco J., Porte C., Sarasquete C., Viarengo A.* The use of biomarkers to assess the impact of pollution in coastal environments of the Iberian Peninsula: a practical approach. *Sci.*

*Total Environ.* 2000;247(2–3):295–311. doi: 10.1016/s0048-9697(99)00499-4

De la Ballina N. R., Maresca F., Cao A., Villalba A. Bivalve haemocyte subpopulations: a review. *Front. Immunol.* 2022;13:826255. doi: 10.3389/fimmu.2022.826255

Divavin I. A., Kopytov Yu. P., Beloivanenko V. N. Metabolic processes in mussel tissues during adaptation to hydrocarbon intoxication and changes in environmental conditions. *Izvestiya AN SSSR. Biological series.* 1989;2:204–214. (In Russ.)

Dyrynda E. A., Law R. J., Dyrynda P. E. J., Kelly C. A., Pipe R. K., Ratcliffe N. A. Changes in immune parameters of natural mussel *Mytilus edulis* populations following a major oil spill ('Sea Empress', Wales, UK). *Marine Ecology Progress Series.* 2000;206:155–170. doi: 10.3354/meps206155

Fokina N. N., Bakhmet I. N., Nemova N. N. Cooperative effect of crude oil and low salinity on the digestive glands lipid composition of the White Sea blue mussels *Mytilus edulis*. *Proc. Zool. Inst. RAS.* 2016;320(3):357–366. (In Russ.)

Fokina N. N., Nefedova Z. A., Nemova N. N. Lipid composition of mussels *Mytilus edulis* L. in the White Sea. Impact of some environmental factors. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 243 p.

Fokina N. N., Ruokolainen T. R., Nemova N. N. The effect of intertidal habitat on seasonal lipid composition changes in blue mussels, *Mytilus edulis* L., from the White Sea. *Polar Record.* 2018;54(2):133–151. doi: 10.1017/s0032247418000293

Fokina N. N., Bakhmet I. N., Shklyarevich G. A., Nemova N. N. Effect of seawater desalination and oil pollution on the lipid composition of blue mussels *Mytilus edulis* L. from the White Sea. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2014;110:103–109. doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.08.010

Garmendia L., Izagirre U., Cajaraville M. P., Marigómez I. Application of a battery of biomarkers in mussel digestive gland to assess long-term effects of the Prestige oil spill in Galicia and Bay of Biscay: Lysosomal responses. *J. Environ. Monit.* 2011;13:901–914.

Gubler E. V., Genkin A. A. Application of criteria of nonparametric statistics for assessing differences between two study groups in biomedical research. Moscow: Meditsina; 1969. 29 p. (In Russ.)

Hylland K., Tollefsen K., Ruus A., Jonsson G., Sundt R. C., Sanni S., Utvik T. I. R., Johnsen S., Nilssen I., Pinturier L., Balk L., Barsiene J., Marigómez I., Feist S. W., Borseth J. F. Water column monitoring near oil installations in the North Sea 2001–2004. *Mar. Pollut. Bull.* 2008;56(3):414–429. doi: 10.1016/j.marpolbul.2007.11.004

Izagirre U., Marigómez I. Lysosomal enlargement and lysosomal membrane destabilisation in mussel digestive cells measured by an integrative index. *Environ. Pollut.* 2009;157:1544–1553.

Kahovcova J., Odavic R. A simple method of the quantitative analysis of phospholipids separated by thin layer chromatography. *J. Chromatogr.* 1969;40:90–96.

Klishin A. Yu., Kanieva N. A., Bazhaeva O. V., Fedorova N. A. Violations of organs and tissues of mollusks of the genus *Unio* under the influence of oil. *Proceedings of VNIRO.* 2016;162:82–86.

Korshunova T. Yu., Loginov O. N. Oil pollution of water environment: features, influence on various objects of hydrosphere, main methods for cleaning. *Ecobiotech.* 2019;2(2):157–174. doi: 10.31163/2618-964X-2019-2-2-157-174 (In Russ.)

Levitskii A. P., Barabash R. D., Konovets V. M. Seasonal features of ribonuclease and  $\alpha$ -amylase activity of saliva and salivary glands in Wistar rats. Leningrad: Nauka; 1973. P. 192–195. (In Russ.)

Livingstone D. R., Pipe R. K. Mussel and environmental contaminants: molecular and cellular aspects. Gosling E. (ed.). *The mussel Mytilus: Ecology, physiology, genetics and culture.* Amsterdam; New York: Elsevier; 1992. P. 425–456.

Lysenko L., Sukhovskaya I., Borvinskaya E., Krupnova M., Kantserova N., Bakhmet I., Nemova N. Detoxication and protein quality control markers in the mussel *Mytilus edulis* (Linnaeus) exposed to crude oil: Salinity-induced modulation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 2015. doi: 10.1016/j.ecss.2015.10.006

Marigómez I., Garmendia L., Soto M., Orbea A., Izagirre U., Cajaraville M. P. Marine ecosystem health status assessment through integrative biomarker indices: a comparative study after the Prestige oil spill 'Mussel Watch'. *Ecotoxicology.* 2013;22:486–505. doi: 10.1007/s10646-013-1042-4

Mearns A. J., O'Connor Th. P., Lauenstein G. G. Relevance of the National Mussel Watch program to seafood fisheries management tissues during oil spill response. *Proceedings of the 1999 International Oil Spill Conference.* Washington, D.C.: API; 1999.

Moore M. N. Autophagy as second level protective process in conferring resistance environmentally induced oxidative stress. *Autophagy.* 2008;4(2):254–256. doi: 10.4161/auto.5528

Moore M. N., Allen J. I., Sommerfield P. J. Autophagy: Role in surviving environmental stress. *Mar. Environ. Res.* 2006;62:S420–425.

Moore M. N., Viarengo A., Donkin P., Hawkins A. J. Autophagic and lysosomal reactions to stress in the hepatopancreas of blue mussels. *Aquat. Toxicol.* 2007;84:80–91. doi: 10.1016/j.aquatox.2007.06.007

NAS (National Academy of Sciences). Oil in the sea III: Inputs fates and effects. National Research Council. Washington, D.C.: The National Academies Press; 2003. 265 p.

Naz H., Islam A., Waheed A., Sly W. S., Ahmad F., Hassan I. Human  $\beta$ -glucuronidase: structure, function, and application in enzyme replacement therapy. *Rejuvenation Res.* 2013;16(5):352–363.

Nemirovskaya I. A. Oil in the ocean (pollution and natural flows). Moscow: Nauchnyy mir; 2013. 432 p. (In Russ.)

Nemova N. N., Vysotskaya R. U. Biochemical indication of fish state. Moscow: Nauka; 2004. 216 p. (In Russ.)

Patin S. A. Oil and continental shelf ecology. In two volumes. Vol. 1. Offshore oil and gas industry: actual situation, prospects, factors of impact. Moscow: VNIRO; 2017. 326 p. (In Russ.)

Pokrovskii A. A., Archakov A. I. Methods of separation and enzymatic identification of subcellular fractions. *Sovremennyye metody v biokhimi* = *Modern methods in biochemistry.* Moscow: Meditsina; 1968. P. 5–59. (In Russ.)

Pokrovskii A. A., Kravchenko L. V., Tutelyan V. A. Study of the activity of lysosomal enzymes under the action of aflatoxin and mitomycin C. *Biokhimiya = Biochemistry*. 1971;36(4):690–696. (In Russ.)

Shchekaturina T. L., Mironov O. G. Accumulation of oil hydrocarbons by bivalves *Mytilus galloprovincialis* L. *Hydrobiological Journal*. 1987;23(2):71–76. (In Russ.)

Siraeva I. N., Lyapina N. K. Sulfur compounds of oils of various types. *Bashkir Chemical Journal*. 2011;18(1):135–139. (In Russ.)

Skidchenko V. S., Vysotskaya R. U., Nemova N. N. The range of acid deoxyribonuclease isoforms in the tissues of *Mytilus edulis* mussels in model experiments with petroleum hydrocarbon poisoning. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2012;2:131–138. (In Russ.)

Turja R., Sanni S., Stankevičiūtė M., Butrimavičienė L., Devier M.-H., Budzinski H., Lehtonen K. K. Biomarker responses and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in *Mytilus trossulus* and *Gammarus oceanicus* during exposure to crude oil. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020;27:15498–15514.

Turja R., Sourinsuo A., Budzinski H., Devier M. H., Lehtonen K. K. Biomarker responses and accumulation of hazardous substances in mussels (*Mytilus trossulus*)

transplanted along a pollution gradient close to an oil terminal in Gulf of Finland (Baltic Sea). *Compar. Biochem. Physiol. Part C. Toxicology and Pharmacology*. 2013;157(1):80–92.

Vashchenko M. A. Pollution of the Peter the Great Bay of the Sea of Japan and its biological consequences. *Russian Journal of Marine Biology*. 2000;26(3):149–159. (In Russ.)

Viarengo A., Lowe D., Bolognesi C., Fabbri E., Köehler A. The use of biomarkers in biomonitoring: a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comp. Biochem. Physiol.* 2007;146:281–300.

Vorob'ev D. S. Influence of oil and oil products on macrozoobenthos. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 2006;309(3):42–45. (In Russ.)

Vorob'ev D. S. Biological bases for cleaning bottom sediments of water bodies from oil and oil products: DSc. (Dr. of Biol.) thesis. Tomsk; 2013. 46 p. (In Russ.)

Vysotskaya R. U., Nemova N. N. Fish lysosomes and lysosomal enzymes. Moscow: Nauka; 2008. 284 p. (In Russ.)

Winchester B. Lysosomal metabolism of glycoproteins. *Glycobiol.* 2005;15(6):1R–15R. doi: 10.1093/glycob/cwi041

Поступила в редакцию / received: 03.11.2022; принята к публикации / accepted: 29.11.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

##### Высоцкая Римма Ульяновна

д-р биол. наук, профессор, ведущий научный сотрудник  
e-mail: vysotskayaru@gmail.com

##### Бахмет Игорь Николаевич

канд. биол. наук, старший научный сотрудник  
e-mail: igor.bakhmet@gmail.com

##### Мурзина Светлана Александровна

д-р биол. наук, заведующая лабораторией экологической биохимии  
e-mail: murzina.svetlana@gmail.com

#### CONTRIBUTORS:

##### Vysotskaya, Rimma

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Leading Researcher

##### Bakhmet, Igor

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

##### Murzina, Svetlana

Dr. Sci. (Biol.), Head of Laboratory



УДК 574.583

## ЗООПЛАНКТОН НЕКОТОРЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ НОСОВОЙ (ЮРАЦКОЙ) (БАССЕЙН РЕКИ ЕНИСЕЙ)

Ю. Ю. Форина

Красноярский государственный аграрный университет (пр. Мира, 90, Красноярск,  
Россия, 660049)

Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ул. Парижской Коммуны, 33, Красноярск,  
Россия, 660049)

Представлены результаты исследований водных объектов системы реки Носовой (Юрацкой) – озер Мурам, Юрацкое, Лебяжье, Бессменное, Сиговое, Сиговое (Чудное), относящейся к бассейну р. Енисей и находящейся за полярным кругом, в зоне с коротким продукционным сезоном. Впервые установлен таксономический состав зоопланктона в них, включающий 35 видов, среди которых 10 видов коловраток, 16 – клadoцер и 9 – копепод. Во всех изученных озерах доминировали ветвистоусые и веслоногие рачки. Наиболее часто встречались *Daphnia cristata* и *Bosmina coregoni*, *Limnocalanus macrurus* и *Heterocope appendiculata*. При сравнении фауны зоопланктона по коэффициенту Сьеренсена наибольшее видовое сходство отмечено у озер Мурам и Сиговое, Лебяжье и Сиговое (Чудное), Сиговое и Сиговое (Чудное) за счет схожих географических и экологических характеристик. Дана оценка кормовым запасам зоопланктона в озерах. По показателям зоопланктона озера бассейна р. Носовой характеризуются как малокормные водоемы: средняя численность изменяется от 3,93 до 17,45 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – от 0,18 до 0,53 г/м<sup>3</sup>.

Ключевые слова: зоопланктон; биоразнообразие; кормовые ресурсы; Арктическая зона; Красноярский край

Для цитирования: Форина Ю. Ю. Зоопланктон некоторых озер бассейна реки Носовой (Юрацкой) (бассейн реки Енисей) // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 65–72. doi: 10.17076/eco1612

### Yu. Yu. Forina. ZOOPLANKTON OF SOME LAKES OF THE NOSOVAYA (YURATSKAYA) RIVER CATCHMENT (YENISEI RIVER CATCHMENT)

Krasnoyarsk State Agrarian University (90 Pr. Mira, 660049 Krasnoyarsk, Russia)

VNIRO Krasnoyarsk Branch (33 Parizhskoi Kommuny St., 660049 Krasnoyarsk, Russia)

The article reports the results of studies of water bodies in the Nosovaya (Yuratskaya) river system belonging to the Yenisei catchment. The taxonomic composition was determined for the first time. There are 35 species of zooplankton, including 10 rotifers, 16 cladocerans and 9 copepods. Cladocera and Copepoda dominated in all the lakes surveyed. The most common species were *Daphnia cristata* and *Bosmina coregoni*, *Limnocalanus macrurus* and *Heterocope appendiculata*. Comparison of the zooplankton faunas

by the Sorensen coefficient revealed the highest species pairwise similarity for lakes Murom-Sigovoe, Lebyazhye-Sigovoye (Chudnoye), Sigovoye-Sigovoye (Chudnoye). Zooplankton feed stocks in lakes Murom, Yuratskoye, Lebyazhye, Bessmennoye, Sigovoye, and Sigovoye (Chudnoye) were estimated. According to zooplankton indicators, the lakes of the Nosovaya River catchment are characterized as poor in feed: average abundance varies from 3.93 to 17.45 thousands ind./m<sup>3</sup>, biomass – from 0.18 to 0.53 g/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** zooplankton; biodiversity; feed resources; the Arctic; Krasnoyarsk Krai

**For citation:** Forina Yu. Yu. Zooplankton of some lakes of the Nosovaya (Yuratskaya) River catchment (Yenisei River catchment). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 65–72. doi: 10.17076/eco1612

## Введение

Интерес к исследованию малых водоемов Таймырского полуострова возник в последнее время в связи с развитием Арктической зоны Российской Федерации. Для рационального использования и сохранения биологических ресурсов Таймырского полуострова необходимо исследование процессов функционирования пресноводных экосистем и закономерностей формирования их продуктивности.

Одной из важных характеристик водных экосистем является зоопланктон и его функциональные особенности. В рамках поставленной задачи впервые получены сведения о таксономическом составе и кормовых запасах гидробионтов, в частности зоопланктона, в озерах Мурам, Юрацкое, Лебяжье, Бессменное, Сиговое, Сиговое (Чудное), расположенных в бассейне реки Носовая (Юрацкая). Сообщество зоопланктона в этих водоемах составляет основу кормовой базы рыб-планктофагов (пелядь, ряпушка) и молоди ценных промысловых видов рыб (тугун, сиг, чир, щука и другие).

Публикаций, посвященных изучению зоопланктонного сообщества рассматриваемых озер, в открытой печати нет.

## Материалы и методы

Озера Мурам, Юрацкое, Лебяжье, Бессменное, Сиговое, Сиговое (Чудное) относятся к бассейну р. Носовой (Юрацкой) и расположены на территории Туруханского района Красноярского края между 67 и 68° с.ш. и 85 и 86° в.д. в зоне вечной мерзлоты. Река Носовая (Юрацкая) длиной 32 км – левобережный приток Енисея, впадает в р. Енисей на 670-м км от его устья. Исток р. Носовой – озеро Мурам. Река протекает через озера Юрацкое, Лебяжье и Бессменное. Озера Сиговое и Сиговое (Чудное) соединяются с системой р. Носовая в период весенне-летнего половодья. Исследования на водоемах проводили в августе 2020 г. Точки отбора проб представлены на рис. 1.



Рис. 1. Карта-схема исследованных озер в бассейне р. Носовой и станции отбора гидробиологических проб (№ 1–20)

Fig. 1. Schematic map of the studied lakes of the Nosovaya River basin and the hydrobiological sampling stations (No. 1–20)

Все озера имеют округлую форму, кроме оз. Юрацкого, которое вытянуто с севера на юг. Берега пологие, чаще каменистые, с зарослями разнотравья. Для всех озер характерен высокий уровень зарастаемости макрофитами, в особенности мелководных участков – заливов, прибрежий (табл. 1).

Температурный режим озер бассейна р. Носовой определяется географическим положением. Исследования данных водных объектов в августе 2020 г. зафиксировали следующие значения: у поверхности максимальная температура 19,6 °С, минимальная – 18 °С; в придонном слое температура изменялась от 15,6 до 6,6 °С (табл. 2).

Таблица 1. Общие параметры исследуемых озер, август-сентябрь 2020 г.

Table 1. General parameters of the studied lakes, August-September, 2020

Озеро Lake	Площадь водного зеркала, га Water mirror area, ha	Максимальная глубина, м Max depth, m	Зарастаемость макрофитами, % Overgrowth macrophytes, %	Тип грунта Soil type
Мурам Muram	1300	6	50	Ил, детрит Silt, detritus
Юрацкое Yuratskoye	1260	25	20	Ил, камни, детрит Silt, stones, detritus
Лебязье Lebyazhye	200	19	20	Ил, песок, детрит Silt, sand, detritus
Бессменное Bessmennoye	260	26	20	Ил, песок, глина, детрит Silt, sand, clay, detritus
Сиговое Sigovoe	180	10	40	Ил, детрит, мох Silt, detritus, moss
Сиговое (Чудное) Sigovoe (Chudnoye)	190	20	20	Ил, песок, детрит, щепки Silt, sand, detritus, slivers

Таблица 2. Температура воды и концентрация кислорода по глубинам в исследованных озерах, август-сентябрь 2020 г.

Table 2. Water temperature and oxygen concentration by depth in the studied lakes, August-September, 2020

Озеро Lake	Глубина, м Depth, m	Температура, °С Temperature, °C	Кислород, мг/л Oxygen, mg/l
Мурам Muram	1	18,0	4,75
	5	15,2	3,80
Юрацкое Yuratskoye	1	19,6	5,17
	5	18,3	3,25
	10	15,2	4,30
	16	14,5	4,07
Лебязье Lebyazhye	1	18,3	8,26
	5	17,9	7,70
	13	8,5	6,30
Бессменное Bessmennoye	5	18,6	8,10
	20	7,1	7,29
Сиговое Sigovoe	1	18,0	7,30
	9	6,6	3,70
Сиговое (Чудное) Sigovoe (Chudnoye)	1	18,3	7,12
	9	15,6	5,70

Содержание растворенного кислорода в воде изученных озер в поверхностном слое колеблется от 4,75 до 8,26 мг/л, в придонном – от 3,70 до 7,29 мг/л, что является благоприятным для существования водных организмов.

В период исследований на всех озерах зафиксирована прозрачность до дна, на мелководных участках – до 3 м, на глубоководных – 5 м.

Сбор проб зоопланктона проводился сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см, газ № 58, на глубинах до 20 м, а также в литоральной зоне. Всего отобрано 60 проб. Камеральная обработка проб проводилась по стандартной счетно-весовой методике в камере Богорова [Методические..., 1982]. Пространственная динамика плотности (численность и биомасса) и функциональные характеристики зоопланктона оценивались по значениям величин в м<sup>3</sup>. Для расчета биомассы зоопланктона использовались значения среднего веса, вычисленные для планктонных беспозвоноч-

ных с использованием уравнения зависимости массы тела особи от длины [Кононова, 2018]. Определение видов проводилось по: [Рылов, 1948; Мануйлова, 1964; Кутикова, 1970; Определитель..., 1995].

### Результаты и обсуждение

В ходе исследований озер Мурам, Юрацкое, Лебяжье, Бессменное, Сиговое и Сиговое (Чудное) выявлено 35 видов зоопланктона: Rotifera – 10, Cladocera – 16, Copepoda – 9, а также неполовозрелые стадии веслоногих рачков – науплии и копеподиты. Фауну водоемов составляли в основном эврибионты и обитатели северных зон. Наибольшее видовое разнообразие отмечено в озере Юрацком (28 видов), наименьшее – в Лебяжьем (19). Таксономический состав сообществ зоопланктона в озерах бассейна р. Носовой (Юрацкой) представлен в табл. 3.

Таблица 3. Таксономический состав сообществ зоопланктона в озерах бассейна р. Носовой (Юрацкой), август 2020 г.

Table 3. Taxonomic composition of zooplankton communities in the lakes of the Nosovaya (Yuratskaya) River basin, August, 2020

Таксон Taxon	Водные объекты Lakes					
	Мурам Muram	Юрацкое Yuratskoye	Лебяжье Lebyazhye	Бессменное Bessmennoye	Сиговое Sigovoe	Сиговое (Чудное) Sigovoe (Chudnoye)
<b>Rotifera</b>						
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	+	+	+	+	+	+
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)	+	-	+	-	+	+
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet	+	+	+	+	+	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg	+	+	-	-	+	-
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	+	+	+	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)	+	+	+	+	+	-
<i>K. quadrata</i> (Müller)	-	+	-	-	-	-
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg)	+	-	-	-	-	-
<i>Lecane</i> sp.	+	-	-	-	-	+
<i>Polyarthra</i> sp.	-	+	+	-	+	+
<b>Cladocera</b>						
<i>Acroperus harpae</i> (Baird)	-	+	-	+	-	-
<i>Alona affinis</i> (Leydig)	-	-	-	+	+	+
<i>A. guttata</i> Sars	-	-	-	-	-	+
<i>A. rectangula</i> Sars	+	-	-	-	-	-
<i>Bosmina coregoni</i> Baird	+	+	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F.M.)	-	+	-	-	-	-
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F.M.)	+	+	+	+	+	+
<i>Daphnia cristata</i> Sars	+	+	+	+	+	+
<i>D. longispina</i> (O.F.M.)	+	+	+	+	+	+
<i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F.M.)	-	+	-	+	-	-
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	+	+	+	+	+	+

Окончание табл. 3  
Table 3 (continued)

Таксон Taxon	Водные объекты Lakes					
	Мурам Muram	Юрацкое Yuratskoye	Лебяжье Lebyazhye	Бессменное Bessmennoye	Сиговое Sigovoe	Сиговое (Чудное) Sigovoe (Chudnoye)
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	-	-	+	+	-	-
<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird)	-	+	-	-	-	-
<i>Polyphemus pediculus</i> (L.)	-	+	-	-	-	-
<i>Sida crystallina</i> (O.F.M)	+	+	+	+	+	+
<i>Simocephalus vetulus</i> (O.F.M)	-	+	-	-	-	-
Copepoda						
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer	+	+	+	+	+	+
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg)	+	+	+	+	+	+
<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe)	+	+	+	+	+	+
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars	+	+	+	+	+	+
<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars	+	+	+	+	+	+
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)	-	+	-	-	+	-
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine)	-	+	-	-	-	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	+	+	+	+	+	+
Harpacticoidae	-	+	-	-	+	-
Всего	21	28	19	20	22	21

В зоопланктоне озера Мурам доминировали клadoцеры (до 51 % по численности и до 75 % по биомассе от всего сообщества). Наиболее часто встречались *Daphnia cristata* и *Bosmina coregoni*. Также значительный вклад в количественные характеристики (рис. 2) зоопланктона исследованного водоема вносили коловратки (до 53 % от общей численности) за счет *Conochilus unicornis* и на различных станциях – *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *Lecane* sp. – представители пелагиального сообщества. Веслоногие в пробах встречались реже и представлены в основном рачками *Eudiaptomus graciloides* и копеподами каляноид. Соотношение трех основных групп (коловраток, клadoцер, копепод) по общей биомассе следующее: 6, 74 и 20 % соответственно.

В сообществе зоопланктона озера Юрацкого доминировали ветвистоусые и веслоногие рачки: до 93 % по общей численности и до 63 % по биомассе. На всех точках отбора проб встречались клadoцеры *B. coregoni* (до 36 % по количественным показателям). Кроме того, на разных станциях в сравнительно большом количестве присутствовали *D. cristata*, крупный веслоногий рачок *Limnocalanus macrurus* и молодь циклопов. Из коловраток массово встречались *K. cochlearis*, однако их вклад в биомассу сообщества незначителен. Развитие зоопланктона по акватории озера неравнозначно. Соотноше-

ние трех основных групп (коловраток, клadoцер и копепод) по общей биомассе следующее: 14, 32, 54 % соответственно.

Ключевую роль в развитии сообщества зоопланктона озера Лебяжьего играли ветвистоусые рачки. На отдельных участках они достигали до 81 и 76 % по численности и биомассе. Наиболее часто встречались *D. cristata* и *B. coregoni*, реже – *D. longispina*, *Holopedium gibberum*, *Sida crystallina*. Среди веслоногих *L. macrurus*, *Mesocyclops leuckarti*, *E. graciloides* и копеподиты каляноид отличались относительно высокими количественными показателями. Из коловраток по численности и биомассе доминировали *Asplanchna priodonta*, имеющие повсеместное распространение в планктоне различных водоемов. Соотношение трех основных групп (коловраток, клadoцер, копепод) по общей биомассе следующее: 3, 49, 48 % соответственно.

Значительную долю в биомассе сообщества зоопланктона озера Бессменного имели веслоногие рачки (до 80 %), в частности *L. macrurus* и *Heterocope appendiculata*. Виды холодолюбивые, обитающие в пелагиали озер. Последний иногда может быть найден в зарослях макрофитов. Помимо половозрелых рачков в пробах обнаружены немногочисленные ювенильные стадии развития зоопланктеров – науплии и копеподиты. Из коловраток часто встречались

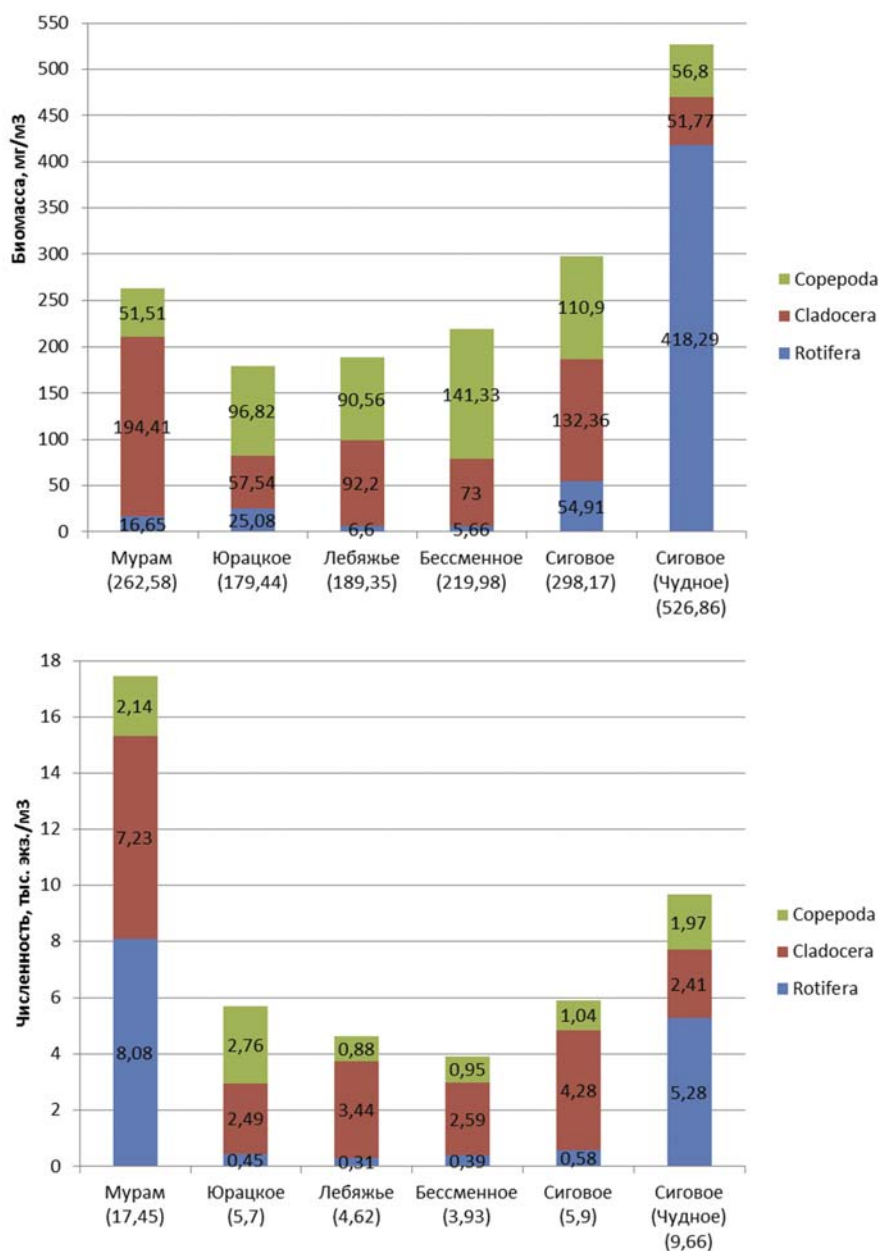


Рис. 2. Количественные характеристики зоопланктона озер бассейна р. Носовая (Юрацкая), 2020 г.

Fig. 2. Quantitative characteristics of zooplankton of lakes of the Nosovaya (Yuratskaya) River basin, 2020

*K. longispina* и *C. unicornis*, которые также являются типичными представителями пелагиали северных водных объектов. Особый вклад в биомассу сообщества не вносили, по численности на некоторых станциях достигали 15 % от общей величины. Соотношение трех основных групп (коловраток, клadoцеров, копепоид) по общей биомассе следующее: 3, 33, 64 % соответственно.

Ветвистоусые рачки преобладали в зоопланктоне озера Сигового. На отдельных участках они

достигали до 75 и 47 % по численности и биомассе. Наиболее часто встречались *D. cristata* и *B. coregoni*, реже – *Alona affinis*, *Chydorus sphaericus*, *D. longispina*, *H. gibberum*, *S. crystallina*. Веслоногие рачки при относительно невысокой численности по биомассе достигали до 57 % от общей (станция 18) за счет *L. macrurus* и копепоидов циклопов и каляноид. Из коловраток по численности и биомассе доминировали *Asplanchna priodonta*, имеющие повсеместное распространение в планктоне различных водое-

мов. Соотношение трех основных групп (коловраток, кладоцер, копепод) по общей биомассе следующее: 18, 44, 37 % соответственно.

Наибольший вклад в сообщество зоопланктона оз. Сигового (Чудного) вносили коловратки за счет массового развития *A. priodonta*. На станции 15 также массово представлены *C. unicornis*. В совокупности на отдельных станциях на долю коловраток приходилось до 57 % от общей численности и до 87 % от биомассы всего сообщества. Ветвистоусые и веслоногие рачки представлены в меньшей степени. Относительно часто встречались *B. coregoni* и неполовозрелые стадии развития копепод – науплии и копеподиты. Соотношение групп организмов по средней биомассе следующее: коловратки – 79 %, кладоцеры – 10 %, копеподы – 11 %.

При сравнении фауны зоопланктона по коэффициенту Сьеренсена наибольшее видовое сходство отмечено у озер Мурам и Сиговое, Лебяжье и Сиговое (Чудное), Сиговое и Сиговое (Чудное) (табл. 4). Наименьшее – у озер Мурам и Юрацкое, что может быть связано с формой озер: Мурам – округлое, Юрац-

кое – вытянуто с севера на юг со сравнительно большим количеством неглубоких хорошо прогреваемых заливов, где развивается фауна, предпочитающая зарослевые местообитания. В целом коэффициент варьировал от 0,57 до 0,85, разница в видовом составе составляла до 11 видов.

Кормовая база озер определяется климатическими условиями региона, развитием водных организмов (в частности, зоопланктона) и эффективностью их использования рыбами. Количественные характеристики зоопланктона варьировали в зависимости от места отбора проб. Наибольшая численность отмечена в озере Мурам (17,45 тыс. экз./м<sup>3</sup>), наименьшая – в Бессменном (3,93 тыс. экз./м<sup>3</sup>), наибольшая биомасса – в озере Сиговом (Чудном) (526,86 мг/м<sup>3</sup>), наименьшая – в Юрацком (179,44 мг/м<sup>3</sup>) (рис. 2).

По показателям зоопланктона озера бассейна р. Носовой характеризуются как малокормные водоемы, где средняя биомасса изменяется от 0,18 до 0,53 г/м<sup>3</sup>. По трофическому статусу, согласно классификации С. П. Китаева [2007], изученные водные объекты по биомассе зоопланктона относятся к ультраолиготрофному типу.

Таблица 4. Коэффициент видового сходства фауны зоопланктона озер бассейна р. Носовой, август 2020 г.  
Table 4. The Sørensen–Dice coefficient of zooplankton of lakes of the Nosovaya River basin, August, 2020

Озера Lakes	Мурам Muram	Юрацкое Yuratskoye	Лебяжье Lebyazhye	Бессменное Bessmennoye	Сиговое Sigovoe
Мурам Muram	-	-	-	-	-
Юрацкое Yuratskoye	0,57	-	-	-	-
Лебяжье Lebyazhye	0,80	0,72	-	-	-
Бессменное Bessmennoye	0,78	0,75	0,87	-	-
Сиговое Sigovoe	0,84	0,76	0,83	0,81	-
Сиговое (Чудное) Sigovoe (Chudnoye)	0,81	0,69	0,85	0,78	0,84

## Заключение

Впервые изучена фауна зоопланктона озер Мурам, Юрацкое, Лебяжье, Бессменное, Сиговое и Сиговое (Чудное), относящихся к бассейну р. Носовой (Юрацкой) (бассейн р. Енисей) и являющихся перспективными рыболовными участками.

В составе зоопланктона отмечено 35 видов, среди которых 10 видов коловраток, 16 – кладоцер и 9 – копепод. По озерам количество

таксономических единиц изменяется от 19 (Лебяжье) до 28 (Юрацкое). По показателям зоопланктона озера бассейна р. Носовой характеризуются как малокормные водоемы: средняя численность изменяется от 3,93 до 17,45 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – от 0,18 до 0,53 г/м<sup>3</sup>. Наибольшие значения зафиксированы для озер Мурам и Сиговое (Чудное), наименьшие – для Бессменного и Юрацкого. По трофическому статусу изученные водные объекты относятся к ультраолиготрофному типу.

## Литература

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

Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России / Отв. ред. А. Г. Татаринов. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2018. 152 с.

Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Л.: Наука, 1970. 744 с.

Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.-Л.: Наука, 1964. 328 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, Зоолог. ин-т АН СССР, 1982. 33 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 2. Ракообразные / Под ред. С. Я. Цалолыхина. СПб.: ЗИН РАН, 1995. 628 с.

Рылов В. М. Фауна СССР. Ракообразные. Т. 3. Вып. 3. М.-Л.: АН СССР, 1948. 318 с.

## References

Kitaev S. P. Basic general limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk; 2007. 395 p. (In Russ.)

Kononova O. N., Fefilova E. B. Guidelines for determining the size and weight characteristics of zooplankton organisms in the European North of Russia. Syktyvkar: Komi NC UrO RAN; 2018. 152 p. (In Russ.)

Kutikova L. A. Rotifers of the fauna of the USSR. Moscow-Leningrad: Nauka; 1970. 745 p. (In Russ.)

Manuilova E. F. Cladocerans of the fauna of the USSR. Moscow: Nauka; 1964. 328 p. (In Russ.)

Rylov V. M. Cyclopoida freshwater Fauna of the USSR (Crustaceans). Moscow: USSR Academy of Sciences Publ.; 1948. 320 p. (In Russ.)

Tsalolikhin S. Ya. (ed.). A key to freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. Vol. 2. St. Petersburg: Nauka; 1995. 628 p. (In Russ.)

Vinberg G. G., Lavrent'eva G. M. (ed.). Guidelines for collecting and processing materials for hydrobiological research in freshwater reservoirs. Zooplankton and its production. Leningrad: GosNIORKh; Zoolog. in-t AN SSSR; 1982. 33 p. (In Russ.)

*Поступила в редакцию / received: 31.05.2022; принята к публикации / accepted: 31.10.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

**Форина Юлия Юрьевна**

аспирант КрасГАУ, ведущий специалист Красноярского филиала ФГБНУ «ВНИРО»

*e-mail: juforina@hotmail.com*

## CONTRIBUTOR:

**Forina, Yulia**

Graduate Student, Leading Specialist



УДК 574.472

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИХТИОФАУНЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕК И ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ БАСЕЙНА ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ ПО ДАННЫМ УЧЕТА МЕЛКОЯЧЕИСТЫМИ ОРУДИЯМИ ЛОВА В 2020–2021 ГОДАХ

А. Д. Быков<sup>1\*</sup>, И. А. Тыркин<sup>2</sup>, В. В. Образов<sup>1</sup>, Р. А. Бондарь<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии – ФГБНУ «ВНИРО» (ул. Верхняя Красносельская, 17, Москва, Россия, 107140), \*89262725311@mail.ru*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» – «ГосНИОРХ» им. Л. С. Берга» (наб. Макарова, 26, Санкт-Петербург, Россия, 199053)*

<sup>3</sup> *Новгородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» – «НовгородНИРО» (ул. Октябрьская, 38, к. 2, Великий Новгород, Россия, 173002)*

По результатам обловов мальковым неводом участков нижнего течения рек, впадающих в оз. Ильмень, и пойменных озер дельты рек Мсты и Ловати уточнены сведения о современном составе рыбного населения водоемов и водотоков бассейна оз. Ильмень. Всего в уловах 2020–2021 гг. зафиксировано 19 видов рыб, относящихся к шести семействам. Ихтиоценозы нижнего течения рек Волхов, Ловать, Шелонь, Веронда и пойменных озер дельты Ловати и Мсты имеют между собой значительное сходство с преобладанием лимнофильных видов, в отличие от перекатистых участков р. Мста, где по численности доминируют реофильные виды рыб. На большинстве учетных станций в уловах преобладали виды рыб, являющихся основными объектами промысла в озере Ильмень. В пойменных озерах дельты Ловати и Мсты биомасса сеголетков рыб в осенний период 2020 г. была в четыре–шесть раз выше, чем в прибрежье озера Ильмень, и сопоставима с показателями, полученными на учетных станциях, расположенных в нижнем течении рек Мста и Волхов. Обловы мальковым неводом участков рек и озер в границах Новгородской области позволили выявить новые для бассейна оз. Ильмень виды рыб, которые ранее не упоминались исследователями или считались редкими для данного бассейна. Гидрологическая изоляция бассейна оз. Ильмень от основных инвазионных коридоров в сочетании с отсутствием целенаправленных акклиматизационных работ способствует устойчивости аборигенного состава ихтиофауны и натурализации в озере Ильмень только одного саморасселенца – серебряного карася.

Ключевые слова: биоразнообразие; ихтиоценоз; индекс видового разнообразия; инвазивные виды рыб; ядро ихтиоценоза

Для цитирования: Быков А. Д., Тыркин И. А., Образов В. В., Бондарь Р. А. Оценка состояния ихтиофауны нижнего течения рек и пойменных водоемов бассейна озера Ильмень по данным учета мелкоячеистыми орудиями лова в 2020–2021 годах // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 73–87. doi: 10.17076/eco1601

**A. D. Bykov<sup>1\*</sup>, I. A. Tyrkin<sup>2</sup>, V. V. Obrazov<sup>1</sup>, R. A. Bondar<sup>3</sup>. AN ASSESSMENT OF THE STATE OF THE FISH FAUNA IN THE LOWER COURSE OF RIVERS AND FLOODPLAIN WATER BODIES IN LAKE ILMEN CATCHMENT BASED ON DATA FROM SURVEYS WITH FINE-MESH FISHING GEAR IN 2020–2021**

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography – VNIRO (17 Verkhnyaya Krasnoselskaya St., 107140 Moscow, Russia), \*89262725311@mail.ru

<sup>2</sup> St. Petersburg Branch of VNIRO – GosNIORKh named after L. S. Berg (26 Nab. Makarova, 199053 St. Petersburg, Russia)

<sup>3</sup> Novgorod Branch of VNIRO – NovgorodNIRO (38-2 Oktyabrskaya St., 173002 Veliky Novgorod, Russia)

Having analyzed fry seine catches from the lower reaches of the rivers flowing into Lake Ilmen and from floodplain lakes in the Msta and Lovat river deltas, we have updated information on the composition of the fish population of reservoirs and watercourses of the Lake Ilmen catchment. In total, 19 fish species belonging to six families were present in the catches in 2020–2021. The fish communities of the lower reaches of the rivers Volkhov, Lovat, Shelon, Veronda and floodplain lakes of the Lovat and Msta deltas featured high similarity, with the predominance of limnophilic species, in contrast to the riffle sections of the Msta, where rheophilic fish species dominated in abundance. At most survey sites, the catches were dominated by the main harvestable fish species of Lake Ilmen. The biomass of fish underyearlings in the autumn period of 2020 in floodplain lakes of the Lovat and Msta deltas was four to six times that of in the littoral zone of Lake Ilmen and comparable to the levels at survey sites in the lower reaches of the rivers Msta and Volkhov. Fry seining of river and lake areas within the Novgorod Region revealed fish species not previously reported for the Lake Ilmen catchment or formerly considered rare in the catchment. Lake Ilmen catchment being hydrologically isolated from the main invasion pathways as well as the absence of intentional acclimatization activities are factors promoting the stability of the native composition of the fish fauna and the reason why only one naturally dispersing species, the silver carp, has become naturalized in Lake Ilmen.

Keywords: biodiversity; fish community; species diversity index; invasive fish species; fish community core

For citation: Bykov A. D., Tyrkin I. A., Obrazov V. V., Bondar R. A. An assessment of the state of the fish fauna in the lower course of rivers and floodplain water bodies in Lake Ilmen catchment based on the data from surveys with fine-mesh fishing gear in 2020–2021. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 73–87. doi: 10.17076/eco1601

## Введение

Одним из первых исследователей ихтиофауны и рыбных промыслов в бассейне оз. Ильмень был Н. А. Варпаховский, опубликовавший в «Записках Императорской Академии наук» свой труд «Рыбы озера Ильмень и реки Волхова Новгородской губернии» [1886]. В данной работе впервые не только описаны особенности рыболовства, но и приведены краткие сведения о встречаемости в уловах большинства представителей ихтиофауны бассейна оз. Ильмень. Наиболее обширной по объему исследований промысловой ихтиофауны является работа П. Ф. Дормачева и И. Ф. Правдина, посвященная биологии и хозяйственному значению рыб оз. Ильмень и р. Волхов в связи со строительством и оценкой негативного влияния будущей Волховской ГЭС на рыбные ресурсы региона [Дормачев, Правдин, 1926]. Прогноз этих

авторов полностью оправдался в части исчезновения из оз. Ильмень популяций рыб с протяженными нерестовыми миграциями после перекрытия плотиной ГЭС р. Волхов. Все дальнейшие научные публикации на протяжении XX и начала XXI вв. были связаны преимущественно с аспектами промышленного рыболовства на оз. Ильмень [Дормачев, 1927; Веткасов, Тюрин, 1974; Экосистема..., 1997; Лукин и др., 2019] или особенностями биологии и рыболовства основных объектов промысла [Понеделко, 1958; Ковалев, 1973; Веткасов, 1974; Федорова, 1974; Иванников, 1992]. Изменения состава ихтиофауны, в том числе динамика встречаемости непромысловых объектов рыбной части сообщества бассейна оз. Ильмень, в последние годы не изучались.

Целью нашей работы является ревизия современного состояния ихтиофауны нижнего течения рек и пойменных водоемов бассейна

озера Ильмень по результатам анализа литературных данных и учетных съемок мелководными орудиями лова в 2020–2021 гг.

### Материалы и методы

Оценку современного состояния ихтиофауны водоемов бассейна оз. Ильмень проводили по результатам притонений мальковой волокушей (длина 10 м, шаг ячеи в крыльях и кутке 5 мм) в сентябре 2020 и 2021 гг., а также июне 2021 г. на учетных станциях, расположенных в пойменных водоемах и низовьях рек бассейна оз. Ильмень (табл. 1; рис.).

Длина притонений по станциям колебалась от 60 до 180 м в зависимости от рельефа дна, характера грунта, зарастаемости макрофитами и их закоряженности. Всего проанализировано 25 уловов мальковой волокуши на 12 учетных станциях. Структуру уловов мальковой волокуши по станциям рассчитывали как долю отдельных видов рыб в улове по их численности от всего улова.

Для сравнения структуры ихтиоценозов пойменных озер и дельты рек дополнительно проведены учетные съемки непосредственно в литорали самого озера Ильмень и среднего течения р. Мста на участке д. Разгон – д. Харитоново.

Таблица 1. Характеристика учетных станций в пойменных водоемах и реках бассейна оз. Ильмень в 2020–2021 гг.

Table 1. The description of the accounting stations in floodplain water bodies and rivers of the Lake Ilmen basin in 2020–2021

№ No.	Название станции Station name	Характер дна Nature of the bottom	Глубина, м Depth, m	Макрофиты / степень зарастаемости Macrophytes / degree of overgrowth	Скорость течения, м/сек Flow speed, m/s	Длина притонений, м Haul length, m
1.	Река Волхов у Юрьевского монастыря Volkhov River near the Yuryevsky Monastery	Песок, ракушка Sand, shells	0,3–1,0	нет по	0,2	60
2.	Озеро Никольское Lake Nikolskoe	Заиленный песок Silty sand	0,3–0,6	Роголистник, рдесты / средняя Hornwort, pondweed / medium	нет по	75
3.	Озеро Благи Lake Blagi	Ил Silt	0,3–0,8	Рдесты / низкая Pondweed / low	нет по	100
4.	Устье реки Мсты Msta River mouth	Песок sand	0,3–1,0	нет по	0,1	40
5.	Река Веронда у пос. Борки Veronda River near the settlement of Borki	Заиленный песок Silty sand	0,2–0,8	Рдесты / средняя Pondweed / medium	0,05	70
6.	Река Шелонь у пос. Старый Шимск Shelon River near the settlement of Stary Shimsk	Песок, ракушка Sand, shells	0,2–0,7	нет по	0,1	140
7.	Озеро Ильмень у д. Коростынь Lake Ilmen near the village of Korostyn	Песок, дрейссена Sand, zebra mussel	0,1–0,3	нет по	нет по	160
8.	Устье р. Ловать Lovat River mouth	Песок Sand	0,2–0,4	нет по	нет по	180
9.	Озеро Чагодовское Lake Chagodovskoe	Ил Silt	0,2–0,5	Роголистник / средняя Hornwort / medium	нет по	80
10.	Озеро Ситное Lake Sitnoe	Заиленный песок Silty sand	0,2–0,4	Камыш, рдесты / средняя Reed, pondweed / medium	нет по	180
11.	Река Мста у д. Разгон Msta River near the village of Razgon	Камни, песок Stones, sand	0,5–1,0	нет по	0,6	180
12.	Река Мста у д. Харитоново Msta River near the village of Kharitonovo	Песок sand	0,3–1,2	Рдесты / низкая Pondweed / low	0,2	40



Карта-схема расположения учетных станций в устьях рек, пойменных водоемах оз. Ильмень (характеристика станций – в табл. 1)

A schematic map of the accounting stations in the rivers mouths, floodplain water bodies of Lake Ilmen (see Table 1 for the stations description)

ново в границах Любытинского муниципально-го района Новгородской области (табл. 1).

Концентрацию молоди рыб в литорали оз. Ильмень, пойменных водоемах Мстинской и Ловатской дельты и участках рек рассчитывали методом прямого учета [Лапицкий, 1967; Сечин, 1986]. Коэффициент уловистости малькового невода принимали по установленным ранее экспериментальным путем значениям – 0,6 [Трещев, 1983; Сечин, 1986]. Биомассу сеголетков рыб (кг/га) определяли по показателям концентрации отдельных видов (экз./га) и их средней массы в уловах.

Всего за период учетных съемок в сентябре 2020 г. и июне и октябре 2021 г. в уловах зафиксировано 9,19 тыс. экз. 19 видов рыб.

Структуру ихтиоценозов оценивали по осредненным значениям доли отдельных видов в уловах по станциям при объединении их в группы: пойменные озера, нижнее течение рек Волхов, Шелонь, Мста, Ловать и Веронда; среднее течение р. Мста и озеро Ильмень с использованием индексов видового разнообразия [Шитиков и др., 2003].

Индекс Шеннона – Уивера  $H'$ :

$$H' = \sum (ni/N) \ln(ni/N),$$

где  $ni$  – численность (доля)  $i$ -го вида;  $N$  – численность всех экз. всех видов;

индекс видового богатства Маргалефа ( $D_{Mg}$ ):

$$D_{Mg} = (S-1) / \ln N,$$

где  $ni$  – численность (доля)  $i$ -го вида;  $N$  – численность всех видов;  $S$  – число видов в выборке; индекс выравненности Пилоу  $E$ :

$$E = H' / \ln S,$$

где  $H'$  – индекс Шеннона – Уивера;  $S$  – число отмеченных в водном объекте видов; индекс доминирования Симпсона:

$$C = \sum p_i^2 = \sum (ni/N)^2,$$

где  $C$  – концентрация доминирования (мера доминирования Симпсона);  $pi$  – относительная значимость (доля вида);  $ni$  – общая численность экз. отдельного вида в улове;  $N$  – общая численность экз. всех видов в улове.

Сходство видовой структуры уловов между собой по группам на участках нижнего течения рек, пойменных водоемов и самого оз. Ильмень оценивали с использованием коэффициента Сьеренсена ( $K_s$ ):

$$K_s = 2c/a + v,$$

где  $a$  – количество (учтенных) видов в первой группе водоемов;  $v$  – количество видов во второй группе водоемов;  $c$  – количество общих видов при сравнении уловов из двух групп водоемов.

Для характеристики относительной численности (встречаемости) видов рыб в структуре ихтиоценозов использовали градацию встречаемости рыб на основе осредненных показателей их доли в уловах. К редким и малочисленным относили рыб, встречаемость которых составляла  $\leq 1\%$ ; к обычным и многочисленным –  $1-10\%$ ; к доминантам –  $\geq 10\%$  [Терещенко, Надилов, 1996; Иванчев, Иванчева, 2010].

Статистическую обработку данных осуществляли биометрическими методами [Плохинский, 1970] с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2010.

## Результаты исследований

При обловах пойменных водоемов дельт Мсты, Ловати и литорали оз. Ильмень зафиксировано 11 видов рыб. Наибольшее видовое разнообразие (9 видов) выявлено при облове песчаной литорали оз. Ильмень у д. Коростынь. На данной учетной станции по встречаемости доминировали сеголетки плотвы *Rutilus rutilus*<sup>1</sup> и ерша *Gymnocephalus cernuus*. Существен-

<sup>1</sup> Таксономический состав ихтиофауны приводится в соответствии с «Атласом пресноводных рыб России» [2002] и каталогом [Fishbase..., 2022].

ное значение в уловах здесь имели также окунь *Perca fluviatilis* и уклейка *Alburnus alburnus*. При обловах этой станции через год поздней осенью (ноябрь 2021 г.) количество видов в уловах сократилось, но увеличилось доминирование окуня и синца *Abramis ballerus* (табл. 2).

Количество видов рыб в озерах дельты рек Мсты и Ловати было в среднем меньше, чем в самом оз. Ильмень. Здесь отсутствовали ерш, синец и судак *Sander lucioperca*. По встречаемости в озерах Ловатской и Мстинской дельты доминировали окунь, плотва и красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (табл. 2).

На речных учетных станциях видовое разнообразие уловов было богаче (19 видов), чем в озерах Ловатской и Мстинской дельты. Причем наибольшее количество видов рыб отмечалось на участках рипальной зоны рек с устойчивым течением ( $\geq 0,1$  м/сек) и незаиленным песчаным дном. Такое сочетание условий наблюдалось в истоке р. Волхов (у Юрьевского монастыря) и по правому берегу р. Мста вблизи ее устья. На данных учетных станциях в уловах зафиксировано по 11 видов рыб. Только на этих двух станциях в сентябре 2020 г. пойманы сеголетки снетка *Osmerus eperlanus*.

В устье р. Мста по встречаемости доминировала молодь леща *Abramis brama*, окуня, крас-

Таблица 2. Структура уловов мальковой волокуши в пойменных водоемах рек Ловати, Мсты и оз. Ильмень осенью 2020–2021 гг., %

Table 2. The structure of juvenile drag catches in floodplain water bodies of the Lovat and Msta Rivers and Lake Ilmen in autumn 2020–2021, %

Вид Species	Оз. Ситное Lake Sitnoe	Оз. Благи Lake Blagi	Оз. Чагодовское Lake Chagodovskoe	Оз. Никольское Lake Nikolskoe	Оз. Ильмень у д. Коростынь Lake Ilmen near the village of Korostyn	
Густера / White bream				0,4		
Ерш / Ruff					8,2	0,9
Красноперка / Rudd	13,8	0,4	56,8	52,9	$\leq 0,1$	
Лещ / Bream	2,4	2,1	2,3	0,4	$\leq 0,1$	3,5
Окунь / Perch	46,2	58,3	2,3	21,9	7,9	21,2
Плотва / Roach	26,7	28,33	1,14	10,3	76,2	62,8
Синец / Blue bream					0,1	11,5
Судак / Zander					$\leq 0,1$	
Уклейка / Bleak	0,5	8,3		5,8	7,0	
Щука / Pike	10,5	2,5	37,5	4,5		
Язь / Ide				3,7	0,4	
Всего: Total:	100	100	100	100	100	100
Месяц, год Month, year	Сентябрь, 2020 September, 2020	Сентябрь, 2020 September, 2020	Сентябрь, 2020 September, 2020	Сентябрь, 2020 September, 2020	Сентябрь, 2020 September, 2020	Ноябрь, 2021 November, 2021

ноперки и плотвы. Резко различались по видовому составу уловы в среднем течении р. Мста в районе д. Разгон летом и осенью 2021 г. На этой станции волокушей облавливался пережат с песчано-галечным дном, и в уловах доминировали типично реофильные виды рыб, нехарактерные в целом для водоемов Приильменской низменности – русская быстрянка *Alburnoides bipunctatus*, голавль *Squalius cephalus*, обыкновенный пескарь *Gobio gobio* (табл. 2).

На истоке р. Волхов (район Юрьевского монастыря), несмотря на большое число видов в уловах, по встречаемости доминировала молодь плотвы и окуня. Существенное значение здесь имели также ерш и уклейка.

На участках рек с отсутствием течения состав уловов был достаточно однообразен и

представлен 3–6 видами рыб. В устье р. Ловать по своей структуре улов был схож с уловами в озерах дельты р. Ловать – Чагодовское и Ситное, с доминированием сеголетков окуня. В р. Веронда в условиях высокой степени органического загрязнения ее нижнего течения (станция № 11) зафиксирован практически моновидовой ихтиоценоз из трех экологически пластичных видов лимнофильной группы, где супердоминантом был речной окунь. Причем именно на этой учетной станции выявлены исключительно высокие показатели концентрации и ихтиомассы сеголетков окуня (44,9 тыс. экз. и 90 кг на 1 га) за период осенней съемки 2020 г. Наиболее ценный промысловый вид – судак – отмечен при обловах речных участков в устье р. Шелонь и на истоке р. Волхов (табл. 3).

Таблица 3. Структура уловов мальковой волокушей в реках бассейна оз. Ильмень в 2020–2021 гг., %

Table 3. The structure of juvenile drag catches in the rivers of the Lake Ilmen basin in 2020–2021, %

Вид Species	устье р. Ловать Lovat River mouth	р. Шелонь Shelon River	р. Веронда Veronda River	р. Волхов у Юрьевского монастыря Volkhov River near the Yuryevsky Monastery			устье р. Мста Msta River mouth	р. Мста у д. Разгон Msta River near the village of Razgon		р. Мста у д. Харитоново Msta River near the village of Kharitonovo
Быстрянка Bystranka								51,3	30,8	
Голавль / Chub					1,5		3,3	11,3		36,8
Голец усатый Stone loach								0,7		
Густера White bream							1,7	0,7		
Ерш / Ruff		0,5		13,2		27,7		0,7		3,5
Елец Common dace								0,7	7,7	1,8
Жерех / Asp							0,1			
Красноперка Common rudd				0,1			15,9			
Лещ / Bream				0,1	0,7	4,8	30,3			8,8
Окунь / Perch	95,1	38,7	99,7	8,2	15,2	53,7	23,2	15,3		
Пескарь / Gudgeon				0,5				14,7	15,4	7
Плотва / Roach		40,2	0,1	69,0	81,4	12,8	16,1		23,1	40,3
Синец / Blue bream				1,9						
Судак / Zander		0,98					0,5			
Снеток / Smelt				1,0			1,1			
Уклейка / Bleak	1,2	19,1		5,7			6,9	4,7	23,1	
Щиповка Spined loach					0,4					1,7
Щука / Pike	3,7		0,2	0,1	0,9	0,5	0,5			
Язь / Ide		0,5		0,2			0,9			
Всего: Total:	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Месяц Month	Сентябрь September	Сентябрь September	Сентябрь September	Сентябрь September	Июнь June	Октябрь October	Сентябрь September	Июнь June	Октябрь October	Июнь June
Год Year	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2020	2021	2021	2021

Несмотря на то что лещ и синец в 2019 г. давали половину всего промышленного вылова (лещ – 32 %, синец – 21 %) по озеру Ильмень [Отчет..., 2020], их осредненная по станциям встречаемость в уловах мальковой волокуши осенью 2020 г. составляла 3,8 % у леща и всего 0,2 % у синца. Вероятнее всего, места облова волокушей мелководий (глубиной до 1 м) приточных водоемов дельты рек и литорали самого озера Ильмень не совпадали с местами массового нагула молоди этих видов, расположенными на больших глубинах.

В низовьях рек Ловать, Шелонь и Веронда леща в уловах волокуши не было совсем. При этом максимальная его встречаемость (30,3 %) зафиксирована в устье р. Мста.

Синец вообще встретился только на двух учетных станциях (в оз. Ильмень у д. Коростынь и на истоке р. Волхов) в минимальных количествах (40 экз. сеголетков), что при специфике данных обловов и его значении в промысле не позволяет отнести его к редким видам. Вместе с тем обловы мелководий в бассейне оз. Ильмень показали, что не для всех промысловых видов рыб можно достоверно получить объективные количественные показатели урожайности молоди из-за различий в ее распределении по местам нагула. Это относится помимо леща и синца также и к густере *Blicca bjorkna*, судаку, чехони *Pelecus cultratus* и снетку.

Размерно-весовые показатели сеголетков массовых видов рыб оз. Ильмень в конце сентября 2020 г. показаны в табл. 4.

Минимальные показатели биомассы рыб (25–30 кг/га) на озерных учетных станциях в бассейне р. Ильмень зафиксированы на мелководных участках озер Ильмень и Ситное. В пой-

менных озерах дельты р. Ловать и Мста биомасса рыб была в 4–6 раз выше из-за более высокой концентрации в них молоди окуня, щуки *Esox lucius*, язя *Leuciscus idus* и красноперки, так как в период осенней межени площадь акватории озер сокращается (табл. 5).

На речных участках различия в биомассе рыб были еще значительнее, чем в водоемах дельты. Для северных притоков оз. Ильмень (р. Волхов, Мста) они были в 5–10 раз выше, чем для западных и южных (р. Шелонь, Ловать). Наиболее высокими показателями биомассы характеризовались загрязненные участки р. Веронда из-за значительных уловов (1132 экз. за притонение) сеголетков речного окуня (табл. 6).

## Обсуждение

Всего в уловах мальковой волокуши на водотоках и водоемах бассейна оз. Ильмень за период съемок 2020–2021 гг. зафиксировано 19 видов рыб, преимущественно из семейства карповых. На большинстве учетных станций в уловах преобладали виды лимнофильной и реолимнофильной экологических групп.

Охарактеризовать структуру ихтиоценозов различных по гидрологическому режиму водоемов и водотоков бассейна оз. Ильмень можно, объединив их в четыре группы и сравнивая между собой по осредненным показателям уловов с применением индексов видовой разнообразия (табл. 7).

Так, показатели индекса Шеннона и Маргалефа характеризуют в целом невысокий уровень видовой богатства рыбного населения в данном бассейне, причем он снижается от среднего течения рек, впадающих в оз. Ильмень, к их устью,

Таблица 4. Размеры сеголетков массовых видов рыб оз. Ильмень в сентябре 2020 г.

Table 4. Sizes of underyearlings of common fish species of Lake Ilmen in September 2020

Вид Species	Средние Average		Колебания Range				N, экз. No., ind.
	Длина промысловая, см Standard length, cm	Масса, г Mass, g	Длина промысловая, см Standard length, cm		Масса, г Mass, g		
			min	max	min	max	
Ерш / Ruff	4,6	2,0	4	5,2	1,1	3,0	29
Красноперка / Common rudd	5,6	2,0	4,8	6,2	1,2	3,5	12
Лещ / Bream	4,5	1,7	1,7	5,9	0,4	3,4	39
Окунь / Perch	5,6	3,1	4,3	7	1,5	4,9	33
Плотва / Roach	3,8	0,9	2,7	6,5	0,03	4,4	81
Судак / Zander	8,1	7,5	7,2	9,2	5,1	10,5	3
Синец / Blue bream	4,3	1,2	4	4,5	0,9	1,4	2
Снеток / Smelt	3,14	0,31	2,7	3,6	0,2	0,49	5
Щука / Pike	12,7	16,7	11	14,5	10	24	15
Язь / Ide	5,1	2,2	3,7	5,5	0,7	2,8	8

Таблица 5. Ихтиомасса (кг/га) молоди рыб в пойменных водоемах р. Ловать, Мста и литорали оз. Ильмень осенью 2020–2021 гг.

Table 5. The ichthyomass (kg/ha) of juvenile fish in floodplain water bodies of the Lovat, Msta Rivers and the littoral of Lake Ilmen in autumn 2020–2021

Вид Species	оз. Ситное Lake Sitnoe	у оз. Благо near Lake Blagi	оз. Чагодовское Lake Chagodovskoe	оз. Никольское Lake Nikolskoe	оз. Ильмень у д. Коростынъ Lake Ilmen near the village of Korostyn		
Густера / White bream				5,6			
Ерш / Ruff					4,7	0,1	
Краснопёрка / Common rudd	0,3	0,1	1,9	53,1	0,0		
Лещ / Bream	2,4	0,6	9,6	0,2	0,0	0,2	
Окунь / Perch	3,7	85,8	2,6	23,0	6,8	2,0	
Плотва / Roach	0,4	11,1	0,0	22,5	10,9	3,2	
Синец / Blue bream					0,1	0,6	
Судак / Zander					0,1		
Уклея / Bleak	0,0	0,4		0,3	2		
Щука / Pike	23,3	26	111,1	40,7			
Язь / Ide				33,3	0,3		
Всего: Total:	30,1	123,9	125,3	178,6	25,0	6,1	
Месяц, год Month, year	Сентябрь, 2020 September, 2020					Ноябрь, 2021 November, 2021	

Таблица 6. Ихтиомасса (кг/га) молоди рыб в реках бассейна оз. Ильмень осенью 2020–2021 гг.

Table 6. The ichthyomass (kg/ha) of juvenile fish in the rivers of the Lake Ilmen basin in autumn 2020–2021

Вид Species	устье р. Ловать Lovat River mouth	р. Шелонь Shelon River	р. Веронда Veronda River	р. Волхов Volkhov River	р. Волхов Volkhov River	р. Волхов Volkhov River	устье р. Мста Msta River mouth	р. Мста у д. Разгон Msta River near the village of Razgon	р. Мста у д. Разгон Msta River near the village of Razgon	р. Мста у д. Харитоново Msta River near the village of Kharitonovo
Быстрянка / Bystranka								6,4	0,7	
Голавль / Chub					8,8		47,5	4,7		12,3
Голец усатый / Stone loach								0,1		
Густера / White bream							4	0,1		
Ерш / Ruff		≥0,1		20,4		5,9		0,1		0,3
Елец / Common dace								0,1	0,9	0,1
Жерех / Asp							0,15			
Краснопёрка / Common rudd				0,5			46			
Лещ / Bream				15,9	1,3	0,9	29,8			0,8
Окунь / Perch	17,8	≥0,1	89,8	12,7	3,0	14,8	26,9			
Пескарёв / Gudgeon				0,8				2,6	1,2	1,0
Плотва / Roach		18,3	2,4	47,9	24,5	2,4	27,9	1,2	0,6	1,9
Синец / Blue bream				2,2						
Судак / Zander		18,3				0,3				
Снеток / Smelt				0,2			1,9			
Уклея / Bleak	≥0,1	0,6		8,7			3,2	0,2	0,4	
Щиповка / Spined loach					1,2	1,0				0,3
Щука / Pike	4,3		6,3	7,9	13		18			
Язь / Ide		0,5		0,5			3,5			
Всего: Total:	22,2	37,7	98,6	117,7	51,9	25,3	208,9	15,4	3,7	16,7
Месяц Month	Сентябрь September	Сентябрь September	Сентябрь September	Сентябрь September	Июнь June	Октябрь October	Сентябрь September	Июнь June	Октябрь October	Июнь June
Год Year	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2020	2021	2021	2021



Таблица 7. Структура ихтиоценозов нижнего течения рек и пойменных водоемов бассейна оз. Ильмень, %  
Table 7. The structure of ichthyocenoses in the lower reaches of rivers and floodplain water bodies in the Lake Ilmen basin

Вид Species	Пойменные озера Floodplain lakes	Ильмень у д. Коростынь Lake Ilmen near the village of Korostyn	Среднее течение реки Мста Middle course of the Msta River	Устья рек Rivers mouths
Быстрянка / Bystranka			27,4	
Голавль / Chub			16,0	0,8
Голец усатый / Stone loach			0,2	
Густера / White bream	0,1		0,2	0,3
Ерш / Ruff		4,6	1,4	2,3
Елец / Common dace			3,4	
Жерех / Asp				0,1
Красноперка / Common rudd	31	0,1		2,7
Лещ / Bream	1,8	1,9	2,9	5,2
Окунь / Perch	32,2	14,6	5,1	46,7
Пескарь / Gudgeon			12,4	0,1
Плотва / Roach	16,5	69,3	21,1	34,5
Синец / Blue bream		5,8		0,3
Судак / Zander				0,2
Снеток / Smelt				0,4
Уклея / Bleak	3,7	3,5	9,3	5,5
Щиповка / Spined loach			0,6	0,1
Щука / Pike	13,8			0,9
Язь / Ide	0,9	0,2		0,3
Всего: Total:	100	100	100	100
Всего видов Total number of species	8	8	12	16
Кол-во экз. Number of ind.	780	2174	220	6023
H', экз./бит H', bits ind.	2,2	1,5	2,8	2,0
D <sub>Mg</sub>	1,05	0,91	2,04	1,72
E	0,7	0,5	1,0	0,7
C	0,25	0,5	0,17	0,34

Примечание. H' – индекс биоразнообразия Шеннона – Уивера; D<sub>Mg</sub> – индекс видового богатства Маргалефа; E – индекс выравнивания Пиелу; C – индекс доминирования Симпсона.

Note. H' – Shannon – Weaver biodiversity index; DM<sub>g</sub> – Margalef species richness index; E – Pielou evenness index; C – Simpson dominance index.

что наиболее выражено на примере р. Мста. Устьевые участки рек Ловать, Мста и пойменные водоемы, расположенные в их дельтах, имеют схожие значения индексов видового богатства.

Показатели индекса Пиелу свидетельствуют о большей степени выравнивания рыбной части сообщества в реках по сравнению с самим оз. Ильмень, где резко преобладают массовые лимнофильные виды – плотва и окунь.

Значение индекса доминирования Симпсона для станции № 7, расположенной в литорали озера Ильмень, из-за высокой доли встречаемости этих видов также наиболее высокое

среди всех рассматриваемых групп водоемов и рек (табл. 7).

Наибольшие различия ихтиоценозов в бассейне оз. Ильмень характерны при сравнении их по группам: среднее течение р. Мста – пойменные озера (значение коэффициента Сьеренсена равно 0,5); среднее течение р. Мста – оз. Ильмень (также 0,5). Более высокие значения данного коэффициента получены при сравнении группы ихтиоценозов: среднее течение р. Мста – устья рек Волхов, Ловать, Шелонь, Мста (0,64). Устья рек, впадающих в оз. Ильмень, и пойменных озер имеют еще более высокий уровень

сходства рыбного населения – 0,7. Наиболее однородную структуру ихтиоценозов (коэффициент Сьеренсена равен 0,75) имеют литоральные участки оз. Ильмень и его пойменные водоемы, расположенные в дельтах рек Мста и Ловать, из-за гидрологической связи с озером в летне-осенний сезон и временного объединения в единый водоем в период весеннего половодья.

Анализ научных публикаций по ихтиологическим исследованиям, материалам прогноза ОДУ Новгородской лаборатории ГосНИОРХ за XX и начало XXI века показал, что независимо от интенсивности рыболовства и характеристики промысловой базы ядро биомассы рыб в оз. Ильмень формируют лещ, синец, плотва, щука, судак, снеток и чехонь [Веткасов, Тюрин, 1974; Отчет..., 1989, 2005; Материалы..., 2020].

Из данной группы объектов промышленного рыболовства наиболее значительные колебания численности и биомассы в зависимости от климатических условий характерны для снетка [Федорова, 1974]. К массовым, но второстепенным промысловым видам, имеющим высокую численность непосредственно в самом оз. Ильмень, относится также ерш, биомасса которого в 60–80-е годы XX века была в среднем выше численности снетка в 2,5 раза [Веткасов, Тюрин, 1974]. К обычным на протяжении всего периода ихтиологических наблюдений в самом озере видам относятся густера, язь, уклейка, налим *Lota lota*, жерех *Aspius aspius*, сом *Silurus glanis*. В водоемах дельты рек Мста и Ловать обычными видами являются также линь *Tinca tinca*, серебряный карась *Carassius gibelio*, красноперка.

Обловы мальковой волокушей нижнего течения рек, пойменных водоемов бассейна оз. Ильмень показали, что ряд видов рыб, имеющих в течение всего XX века статус редких, по данным уловов 2020–2021 гг. оказались не только обычными, но и на отдельных локалитетах многочисленными.

Например, голавль, описанный всеми ихтиологами [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926; Ковалев, 1970; Лукин и др., 2019] как редкий для бассейна оз. Ильмень вид, при обловах р. Мста был весьма обычен в уловах среднего течения и многочислен в ее устье. При обловах переката у д. Разгон, расположенного в среднем течении р. Мста, в июне и ноябре 2021 г. в уловах волокуши была обычна русская быстрянка, о наличии которой в составе ихтиофауны бассейна оз. Ильмень ранее не упоминалось [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926; Ковалев, 1970; Лукин и др., 2019]. Облов плавной сетью русла р. Волхов от г. Великий Новгород до с. Селищи в июне

2021 г. показал наличие в уловах белоглазки *Ballerus sapa* – вида, считавшегося исчезнувшим после строительства Волховской ГЭС и не упоминаемого в обзорах ихтиофауны бассейна оз. Ильмень уже в течение 100 лет [Ковалев, 1970; Лукин и др., 2019].

Обловы пойменных озер дельты р. Ловать и особенно р. Мста выявили высокую численность красноперки – вида, упоминаемого ранее как редкого [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926; Ковалев, 1970; Лукин и др., 2019].

Перекрытие почти сто лет назад плотиной Волховской ГЭС русла р. Волхов, несмотря на работу рыбоподъемника и деятельность Волховского рыболовного завода, привело к тому, что волховский сиг, ранее промысловый вид, исчез из состава ихтиофауны оз. Ильмень, как и мигрирующие ранее из Ладожского озера по р. Волхов в оз. Ильмень малочисленные атлантический осетр *Acipenser sturio*, речная минога *Lampetra fluviatilis* и речной угорь *Anguilla anguilla* [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926; Ковалев, 1970; Лукин и др., 2019].

Рыбец (сырть) *Vimba vimba* до зарегулирования р. Волхов, так же как и волховский сиг, составлявший основу речного промысла [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926], после гидростроительства резко сократил свою численность еще в 30-е годы XX века [Ковалев, 1970], однако как редкий представитель ихтиофауны бассейна р. Ильмень, по опросным данным, и сейчас изредка встречается в браконьерских уловах на р. Мста, где сырть, вероятно, и размножается. В уловах плавной сети при обловах русла р. Мста в июне 2021 г. на участке от пос. Мстинский Мост до д. Нижние Тиккулы рыбец отсутствовал.

Значительная площадь галечных и песчано-каменистых перекатов в среднем и особенно в верхнем течении р. Мсты в сочетании с быстрым течением и невысоким уровнем антропогенного загрязнения создают благоприятные условия для обитания мелких реофильных рыб и рыбообразных (ручьевая минога *Lampetra planeri*, голец усатый *Barbatula barbatula*, обыкновенный подкаменщик *Cottus gobio*, обыкновенный голяк *Phoxinus phoxinus*, ручьевая форель *Salmo trutta*), упоминаемых ранее в обзорах ихтиофауны оз. Ильмень лишь кратко [Варпаховский, 1886; Дормачев, Правдин, 1926; Ковалев, 1970]. Так, обловы волокушей каменисто-песчаного переката на р. Мста у д. Разгон показали наличие высокой численности русской быстрянки, гольца усатого и пескаря обыкновенного. Вероятно, обловы волокушей большего числа участков реки Мсты и ее притоков привели бы к расширению списка

рыбного населения и, возможно, выявлению новых, не указанных ранее представителей аборигенной и инвазивной ихтиофауны бассейна оз. Ильмень.

Что касается встречаемости в уловах мальковой волокуши инвазивных видов рыб, темпы распространения которых в начале XXI века резко возросли в бассейнах Волги и Днепра [Слынько и др., 2010; Семенченко и др., 2014], то в водоемах Балтийского бассейна эти процессы протекают менее интенсивно, так как саморасселению рыб Понто-Каспийского комплекса за пределы водохранилищ р. Вытегры и озер юго-восточного Прионежья в бассейн Балтийского моря, вероятно, препятствуют неблагоприятные условия глубокого и холодноводного Онежского озера [Попов, 2014; Коновалов и др., 2015; Костюничев и др., 2015; Ильмаст и др., 2018]. А целенаправленные акклиматизационные работы по вселению ценных видов рыб в водоемах Северо-Запада России в настоящее время практически не проводятся [Попов, 2014; Костюничев и др., 2015; Ильмаст и др., 2018].

Из списка чужеродных видов рыб, расширяющих свой ареал в европейской части России [Слынько и др., 2010], в промысловых, научно-исследовательских и любительских уловах наибольшую встречаемость имеет только серебряный карась, официальные промысловые уловы которого при мережном промысле в пойменных озерах дельты рек Мсты и Ловати за последние 20 лет составляли в среднем не более одной тонны в год, а его доля в общем вылове по оз. Ильмень не превышает одного процента [Отчет..., 2005; Материалы..., 2020].

Сазан (каrp) *Cyprinus carpio* и несколько видов сиговых, которыми зарыбляли еще в 50-е годы XX века оз. Ильмень [Ковалев, 1970], в нем не натурализовались и в уловах официально не фиксировались. Виды сем. Gobiidae – головешка-ротан *Perccottus glenii*, обыкновенный горчак *Rhodeus sericeus*, амурский чебачок *Pseudorasbora parva*, широко распространенные сейчас в бассейнах рек Днепр, Дон и Волга [Слынько и др., 2010; Семенченко и др., 2014], в уловах волокуши 2020–2021 гг. и по опросным данным в нижнем течении рек, впадающих в оз. Ильмень, и в самом озере в настоящее время отсутствуют. В 2019 г. в оз. Ильмень достоверно установлен факт поимки гибридного экземпляра толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* × *Hypophthalmichthys nobilis*, пойманного закидным неводом. Трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus*, как редкий вид, и девятииглая колюшка *Pungitius pungitius*, как обычный в ихтиофауне р. Волхов 60-х годов XX века [Ковалев, 1970], в наших уловах также отсутствовали.

Обобщая литературные источники и результаты собственных исследований структуры рыбного населения бассейна оз. Ильмень, можно предположить, что пять видов, жизненный цикл которых связан с протяженными нерестовыми миграциями, после перекрытия р. Волхов плотиной Волховской ГЭС исчезли, а два инвазивных вида появились в составе ихтиофауны. Таким образом, современный состав ихтиофауны бассейна оз. Ильмень расширился из-за выявления новых видов и представлен 35 таксонами, из которых семь видов обитают только в реках (табл. 8).

Таблица 8. Динамика видового состава ихтиофауны бассейна оз. Ильмень

Table 8. The dynamics of the species composition of the ichthyofauna of the Lake Ilmen basin

Семейства, виды рыб и круглоротых Families, species of fish and cyclostomes	Варлаховский, 1886 г. Vargakovsky, 1886	Дормачев, Правдин, 1926 г. Dormachev, Pravdin, 1926	Ковалев, 1970 г. Kovalev, 1970	Лукин и др., 2019 г. Lukin et al., 2019	Наши данные, 2020–2021 гг. Authors' data, 2020–2021
<b>СЕМЕЙСТВО PETROMYZONTIDAE Bonaparte, 1832 – МИНОГОВЫЕ</b>					
<i>Lampetra fluviatilis</i> (L., 1758) – речная минога	2	2	И	-	И
<i>L. planeri</i> (Bloch, 1784) – ручьевая минога	-	-	2	1	1
<b>СЕМЕЙСТВО ACIPENSERIDAE Bonaparte, 1832 – ОСЕТРОВЫЕ</b>					
<i>Acipenser sturio</i> L., 1758 – атлантический осетр	1	1	И	-	И
<i>A. ruthenus</i> L., 1758 – стерлядь	1	1	И	-	И
<b>СЕМЕЙСТВО SALMONIDAE Rafinesque, 1818 – ЛОСОСЕВЫЕ</b>					
<i>Salmo trutta</i> Kessler, 1870 – кумжа	1	1	1	1	1
<b>СЕМЕЙСТВО COREGONIDAE Core, 1872 – СИГОВЫЕ</b>					
<i>Coregonus lavaretus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный сиг	3	3	И	-	И

Окончание табл. 8  
Table 8 (continued)

Семейства, виды рыб и круглоротых Families, species of fish and cyclostomes	Варпахов- ский, 1886 г. Varpakovsky, 1886	Дормачев, Правдин, 1926 г. Dormachev, Pravdin, 1926	Ковалев, 1970 г. Kovalev, 1970	Лукин и др., 2019 г. Lukin et al., 2019	Наши данные, 2020–2021 гг. Authors' data, 2020–2021
<b>СЕМЕЙСТВО ЕСОЦИДАЕ Cuvier, 1816 – ЩУКОВЫЕ</b>					
<i>Esox lucius</i> L., 1758 – обыкновенная щука	3	3	3	3	3
<b>СЕМЕЙСТВО СУПРИНИДАЕ Bonaparte, 1832 – КАРПОВЫЕ</b>					
<i>Abramis brama</i> (L., 1758) – лещ	3	3	3	3	3
<i>A. ballerus</i> (L., 1758) – синец	3	3	3	3	3
<i>Ballerus sapa</i> (Pall., 1814) – белоглазка	2	2	И	-	2
<i>Vimba vimba</i> Pallas, 1768 – рыбец	3	2	И	1	1
<i>Alburnus alburnus</i> (L., 1758) – уклейка	3	3	3	3	3
<i>Aspius aspius</i> (L., 1758) – обыкновенный жерех	3	2	2	1	1
<i>Blicca bjorkna</i> (L., 1758) – густера	3	3	3	3	3
<i>Carassius carassius</i> (L., 1758) – золотой карась	1	2	1	-	1
<i>C. gibelio</i> (Bloch, 1782) – серебряный карась	-	-	-	C1	C2
<i>Gobio gobio</i> (L., 1758) – обыкновенный пескарь	2	2	2	1	2
<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782) – быстрянка	-	-	-	-	2
<i>Squalius cephalus</i> (L., 1758) – голавль	1	1	1	1	2
<i>Leuciscus leuciscus</i> (L., 1758) – елец	-	-	2	-	2
<i>Pelecus cultratus</i> (L., 1758) – чехонь	1	2	2	2	3
<i>Rutilus rutilus</i> (L., 1758) – плотва	3	3	3	3	3
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (L., 1758) – красноперка	1	2	2	1	3
<i>Tinca tinca</i> (L., 1758) – линь	1	2	2	1	2
<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758) – язь	3	3	2	2	2
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes, 1844) × <i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richardson, 1846) – гибрид белый × пестрый толстолобик	-	-	-	-	1C
<i>Phoxinus phoxinus</i> L., 1758 – обыкновенный голянь			2	-	2
<b>СЕМЕЙСТВО СОБИТИДАЕ Swainson, 1838 – ВЬЮНОВЫЕ</b>					
<i>Cobitis taenia</i> (L., 1758) – обыкновенная щиповка	-	2	2	1	2
<i>Misgurnus fossilis</i> (L., 1758) – вьюн	1	2	1	1	1
<b>СЕМЕЙСТВО НЕМАХЕЙЛОВАЕ Regan, 1911 – НЕМАХЕЙЛОВЫЕ</b>					
<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758) – усатый голец					2
<b>СЕМЕЙСТВО ЛОТИДАЕ Bonaparte, 1837 – НАЛИМОВЫЕ</b>					
<i>Lota lota</i> (L., 1758) – налим	2	2	2	2	2
<b>СЕМЕЙСТВО СИЛУРИДАЕ Cuvier, 1816 – СОМОВЫЕ</b>					
<i>Silurus glanis</i> (L., 1758) – обыкновенный сом	1	1	1	1	1
<b>СЕМЕЙСТВО ОСМЕРИДАЕ Jordan, 1923 – КОРЮШКОВЫЕ</b>					
<i>Osmerus eperlanus</i> (Linnaeus, 1758) – европейская корюшка, снеток	3	3	3	3	3
<b>СЕМЕЙСТВО ГАСТЕРОСТЕИДАЕ Bonaparte, 1832 – КОЛЮШКОВЫЕ</b>					
<i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758 – трехиглая колюшка	1	-	1	1	1
<i>Pungitius pungitius</i> Linnaeus, 1758 – девятииглая колюшка	-	-	2	1	1
<b>СЕМЕЙСТВО ПЕРЦИДАЕ Cuvier, 1816 – ОКУНЕВЫЕ</b>					
<i>Gymnocephalus cernuus</i> (L., 1758) – обыкновенный ерш	3	3	3	3	3
<i>Perca fluviatilis</i> L., 1758 – речной окунь	3	3	3	3	3
<i>Sander lucioperca</i> (L., 1758) – обыкновенный судак	3	3	3	3	3
<b>СЕМЕЙСТВО АНГУИЛЛИДАЕ Schrank, 1798 – УГРЕВЫЕ</b>					
<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758) – речной угорь	1	1	1	1	И
<b>СОТТИДАЕ Bonaparte, 1832 – РОГАТКОВЫЕ</b>					
<i>Cottus gobio</i> L., 1758 – обыкновенный подкаменщик	-	-	2	1	2
Всего видов:	30	30	30	29	35

Примечание. 1 – редкий вид (встречаемость в уловах (N) < 1 %); 2 – обычный вид (встречаемость в уловах (N) 1–10 %); 3 – многочисленный вид (встречаемость в уловах (N) > 10 %). Курсивом выделены виды, обитающие только в реках; С – саморасселенцы; И – исчезнувшие виды.

Note. 1 – rare species (occurrence in catches (N) < 1 %); 2 – common species (occurrence in catches (N) 1–10 %); 3 – numerous species (occurrence in catches (N) > 10 %); The species living only in rivers are given in italics; C – self-settlers; И – extinct species.

## Заключение

Через 100 лет после строительства Волховской ГЭС в начале XXI века ихтиофауна бассейна оз. Ильмень не претерпела существенных изменений. В ядро ихтиоценозов оз. Ильмень, его придаточных водоемов и нижнего течения рек входят виды лимнофильной экологической группы, являющиеся основными объектами промышленного рыболовства. Ихтиоценозы нижнего течения рек, пойменных озер и литоральной зоны оз. Ильмень имеют сходные черты. Состав рыбного населения среднего течения р. Мста более разнообразен по своей структуре из-за наличия в нем типично реофильных видов по сравнению с водоемами и реками Приильменской низменности, где доминируют лимнофилы. Сравнение современного состава ихтиофауны с результатами ихтиологических исследований, проводившихся в бассейне оз. Ильмень на протяжении XX и в начале XXI веков, показало высокую устойчивость видового состава рыбной части сообщества. Строительство Волховской ГЭС привело к исчезновению рыб с протяженными нерестовыми миграциями в направлении из Ладожского озера в озеро Ильмень по р. Волхов. Доля инвазивных видов в составе ихтиофауны оз. Ильмень в настоящее время невелика и объясняется гидрологической изолированностью его бассейна от основных инвазионных коридоров и отсутствием акклиматизационных работ.

## Литература

- Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / Под общ. ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2002. Т. 1. 382 с.*
- Варпаховский Н. А.* Рыбы озера Ильменя и р. Волхова Новгородской губернии. Записки Академии наук. СПб.: Типография Императорской академии наук, 1886. 68 с.
- Веткасов С. А.* Возраст, темп роста и динамика численности щуки в озере Ильмень (по данным за 1968–1970 гг.) // Теоретические основы регулирования рыболовства на внутренних водоемах (на примере озера Ильмень). Л.: ГосНИОРХ, 1974. С. 64–73.
- Веткасов С. А., Тюрин П. В.* Влияние основных орудий рыболовства на состояние рыбных запасов в озере Ильмень за период 1860–1970 гг. // Теоретические основы регулирования рыболовства на внутренних водоемах (на примере озера Ильмень). Л.: ГосНИОРХ, 1974. С. 113–126.
- Дормачев П. Ф., Правдин И. Ф.* Рыбы оз. Ильмень и р. Волхов и их хозяйственное значение // Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна. Л., 1926. Вып. X. Ч. II. С. 1–294.
- Дормачев П. Ф.* Промыслово-экономическая характеристика рыболовства района реки Волхова, озера Ильменя и низовьев рек Мсты, Ловати и Шелони // Материалы по исследованию р. Волхова и его бассейна. Л., 1927. Вып. X. Ч. III. С. 1–104.
- Иванников В. П.* Щука (*Esox lucius* L.) в биоценозе озера Ильмень и ее рациональное использование: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1992. 21 с.
- Иванчев В. П., Иванчева Е. Ю.* Круглоротые и рыбы Рязанской области и прилежащих территорий. Рязань: Голос губернии, 2010. 292 с.
- Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А.* Экосистема Урозера и результаты вселения в водоем новых видов рыб // Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11, № 3. С. 62–69.
- Ковалев П. М.* Рыбы Новгородской области и прилегающих районов. Л.: Лениздат, 1970. 46 с.
- Ковалев П. М.* Об условиях естественного воспроизводства судака, окуня и ерша оз. Ильмень // Вопросы ихтиологии. 1973. Т. 13, вып. 6(83). С. 1122–1124.
- Коновалов А. Ф., Борисов М. Я., Болотова Н. Л.* Распространение новых видов рыб по судоходным водным путям в водоемах Вологодской области // Российский журнал биологических инвазий. 2015. Т. 8, № 2. С. 53–66.
- Костюничев В. В., Богданова В. А., Шумилина А. К., Остроумова И. Н.* Искусственное воспроизводство рыб на северо-западе России // Труды ВНИРО. 2015. Т. 153. С. 26–41.
- Лапицкий И. И.* Метод учета численности рыб в Цимлянском водохранилище // Тр. Волгоградского отделения ГосНИОРХ. 1967. Т. 3, вып. 6. С. 921–926.
- Лукин А. А., Никитина Т. В., Лукина Ю. Н., Тыркин И. А.* Состояние рыбной части сообщества озера Ильмень в условиях интенсивной промысловой нагрузки // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20, № 1. С. 23–32.
- Отчет о НИР: Провести оценку рыбных запасов в озерах, реках и водохранилищах РСФСР и дать прогноз уловов на 1990 год. Раздел: оз. Ильмень и озера Новгородской области. Фонды Новгородской лаборатории «ГосНИОРХ». Новгород, 1989. 40 с.*
- Отчет о НИР: Разработать прогнозы ОДУ объектов промышленного рыболовства и определить объемы производства товарной рыбы в 2006 году в пресноводных водоемах Европейской части Российской Федерации. Фонды Новгородского отделения ФГУП «ГосНИОРХ». В. Новгород, 2005 г. 88 с.*
- Материалы, обосновывающие рекомендованный вылов в озере Ильмень и малых водоемах Новгородской области на 2021 год. Фонды Новгородского филиала ФГБНУ «ВНИРО». В. Новгород, 2020 г. 106 с.*
- Попов И. Ю.* Новые виды рыб в российской части Финского залива и пресных водоемах Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Российский журнал биологических инвазий. 2014. Т. 7, № 1. С. 52–64.
- Плохинский Н. А.* Биометрия. М.: Изд-во МГУ, 1970. 265 с.
- Понеделко Б. И.* Распределение икры, личинок и мальков промысловых видов рыб озера Ильмень // Бюллетень ин-та биологии водохранилищ. М., 1958. № 2. С. 33–36.
- Семенченко В. П., Сон М. О., Новицкий Р. А., Квач Ю. В., Панов В. Е.* Чужеродные макробеспозвоноч-

ные и рыбы в бассейне реки Днепр // Российский журнал биологических инвазий. 2014. Т. 7, № 4. С. 76–96.

Сечин Ю. Т. Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. М.: ВНИИПРХ, 1986. 50 с.

Слынько Ю. В., Дгебуадзе Ю. Ю., Новицкий Р. А., Христов О. А. Инвазии чужеродных рыб в бассейнах крупнейших рек Понто-Каспийского бассейна: состав, векторы, инвазионные пути и темпы // Российский журнал биологических инвазий. 2010. Т. 3, № 4. С. 74–89.

Терещенко В. Г., Надиров С. Н. Формирование структуры рыбного населения предгорного водохранилища // Вопр. ихтиологии. 1996. Т. 36, № 2. С. 169–178.

Трещев А. И. Интенсивность рыболовства. М.: Легкая пром-ть, 1983. 236 с.

Федорова Г. В. Уловы и биологическая характеристика снетка озера Ильмень // Теоретические основы регулирования рыболовства на внутренних водоемах (на примере озера Ильмень). Л.: ГосНИОРХ, 1974. С. 102–110.

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

Экосистема оз. Ильмень и его поймы / Под ред. Ю. Н. Сергеева. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 275 с.

Fishbase. URL: <https://www.fishbase.se/search.php> (дата обращения: 05.05.2022).

## References

Dormachev P. F., Pravdin I. F. Fishes of Lake Ilmen and the Volkhov River and their economic importance. *Materialy po issledovaniyu r. Volkhova i ego basseina = Materials for the study of the Volkhov River and its basin*. Leningrad; 1926. Iss. X. Pt. II. P. 1–294. (In Russ.)

Dormachev P. F. The commercial and economic description of fishing in the area of the Volkhov River, Lake Ilmen and the lower reaches of the Msta, Lovat and Shelon Rivers. *Materialy po issledovaniyu r. Volkhova i ego basseina = Materials for the study of the Volkhov River and its basin*. Leningrad; 1927. Iss. X. Pt. III. P. 1–104. (In Russ.)

Fedorova G. V. Catches and biological characteristics of smelt from Lake Ilmen. *Teoreticheskie osnovy regulirovaniya rybolovstva na vnutrennikh vodoemakh (na primere ozera Il'men') = Theoretical foundations of regulation of fisheries in inland waters (case of Lake Ilmen)*. Leningrad: GosNIORKh, 1974. P. 102–110. (In Russ.)

Fishbase. URL: <https://www.fishbase.se/search.php> (accessed: 05.05.2022).

Il'mast N. V., Sterligova O. P., Kuchko Y. A. Ecosystem of Lake Urozero and results of introduction of new fish species into the water body. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2018;11(3):62–69. (In Russ.)

Ivanchev V. P., Ivancheva E. Y. Cyclostomes and fishes of the Ryazan Region and adjacent territories. Ryazan: Golos gubernii; 2010. 292 p. (In Russ.)

Ivannikov V. P. Pike (*Esox lucius* L.) in the biocenosis of Lake Ilmen and its rational use: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. St. Petersburg; 1992. 21 p. (In Russ.)

Konovalov A. F., Borisov M. Y., Bolotova N. L. Distribution of new fish species along the navigable waterways

in the water bodies of Vologda oblast. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2015;8(2):53–66. (In Russ.)

Kostyunichev V. V., Bogdanova V. A., Shumilina A. K., Ostroumova I. N. The artificial reproduction of fishes in the north-west of Russia. *Trudy VNIRO*. 2015;153: 26–41. (In Russ.)

Kovalev P. M. On the conditions of natural reproduction of the zander, perch and ruff in Lake Ilmen. *Journal of Ichthyology*. 1973;13-6(83):1122–1124. (In Russ.)

Kovalev P. M. Fishes of the Novgorod Region and adjacent areas. Leningrad: Lenizdat; 1970. 46 p. (In Russ.)

Lapitskii I. I. A method for accounting the number of fishes in the Tsimlyansk reservoir. *Tr. Volgogradskogo otdeleniya GosNIORKh = Proceed. of the Volgograd Br. of the National Research Institute of Lake and River Fisheries*. 1967;3(6):921–926. (In Russ.)

Lukin A. A., Nikitina T. V., Lukina Y. N., Tyrkin I. A. Status of the fish community of Lake Ilmen under conditions of intense fishing pressure. *Voprosy rybolovstva = Problems of Fisheries*. 2019;20(1):23–32. (In Russ.)

Plokhinskii N. A. Biometrics. Moscow: MGU; 1970. 265 p. (In Russ.)

Ponedelko B. I. Distribution of caviar, larvae and fry of commercial fish species of Lake Ilmen. *Byulleten in-ta biologii vodokhranilishch = Bulletin of the Institute of Reservoir Biology*. 1958;2:33–36. (In Russ.)

Popov I. Y. New fish species in the Russian part of the Gulf of Finland and fresh water bodies of St. Petersburg and the Leningrad Region. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2014;7(1):52–64. (In Russ.)

Research report: To assess fish stocks in lakes, rivers and reservoirs of the RSFSR and to forecast catches for 1990. Section: Lake Ilmen and lakes of the Novgorod Region. Funds of the Novgorod laboratory of the National Research Institute of Lake and River Fisheries. Novgorod; 1989. 40 p. (In Russ.)

Research report: To develop forecasts of estimated levels of industrial fisheries and determine the volume of commercial fish production in 2006 in freshwater reservoirs of the European part of the Russian Federation. Funds of the Novgorod Br. of the National Research Institute of Lake and River Fisheries. V. Novgorod; 2005. 88 p. (In Russ.)

Reshetnikov Yu. S. (ed.). Atlas of freshwater fishes in Russia. Moscow: Nauka; 2002. Vol. 1. 382 p. (In Russ.)

Sechin Y. T. Guidelines for assessing the number of fishes in freshwater reservoirs. Moscow: VNIIPRKh; 1986. 50 p. (In Russ.)

Semenchenko V. P., Son M. O., Novitskiy R. A., Kvach Y. V., Panov V. E. Alien macroinvertebrates and fish in the Dnieper River basin. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2014;7(4):76–96. (In Russ.)

Sergeev Yu. N. (ed.). Ecosystem of Lake Ilmen and its floodplains. St. Petersburg: SPbGU; 1997. 275 p. (In Russ.)

Shitikov V. K., Rozenberg G. S., Zinchenko T. D. Quantitative hydroecology: Methods of system identification. Tolyatti: IEVB RAN; 2003. 463 p. (In Russ.)

Slyn'ko Yu. V., Dgebuadze Yu. Yu., Novitskii R. A., Khristov O. A. Alien fish invasions in the basins of the largest rivers of the Ponto-Caspian basin: Composition, vectors, invasion routes and rates. *Russian Journal of Biological Invasions*. 2010;3(4):74–89. (In Russ.)

Tereshchenko V. G., Nadirov S. N. The formation of the fish population structure in a foothill reservoir. *Journal of Ichthyology*. 1996;36(2):169–178. (In Russ.)

*The materials* substantiating the recommended catch in Lake Ilmen and small water bodies of the Novgorod region for 2021. Funds of the Novgorod Br. of the Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography. V. Novgorod; 2020. 106 p. (In Russ.)

Treshchev A. I. Fishing intensity. Moscow: Legkaya prom-t, 1983. 236 p. (In Russ.)

Varpakhovskii N. A. Fish of Lake Ilmen and the Volkhov River in the Novgorod province. *Zapiski Akademii nauk = Proceed. of the Academy of Sciences*. St. Petersburg; 1886. 68 p. (In Russ.)

Vetkasov S. A. Age, growth rate and population dynamics of pike in Lake Ilmen (according to data for 1968–1970). *Teoreticheskie osnovy regulirovaniya rybolovstva na vnutrennikh vodoemakh (na primere ozera Il'men')* = *Theoretical foundations of regulation of fisheries in inland waters (case of Lake Ilmen)*. Leningrad: GosNIORKh; 1974. P. 64–73. (In Russ.)

Vetkasov S. A., Tyurin P. V. The influence of the main fishing gear on the state of fish stocks in Lake Ilmen for the period 1860–1970. *Teoreticheskie osnovy regulirovaniya rybolovstva na vnutrennikh vodoemakh (na primere ozera Il'men')* = *Theoretical foundations of regulation of fisheries in inland waters (case of Lake Ilmen)*. Leningrad: GosNIORKh; 1974. P. 113–126. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 26.05.2022; принята к публикации / accepted: 16.11.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Быков Андрей Дмитриевич**

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

*e-mail: 89262725311@mail.ru*

**Тыркин Игорь Александрович**

канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

*e-mail: igor7895@yandex.ru*

**Образов Владимир Валентинович**

ведущий инженер

*e-mail: 89262725311@mail.ru*

**Бондарь Роман Александрович**

специалист

*e-mail: bondar@novgorod.vniro.ru*

### **CONTRIBUTORS:**

**Bykov, Andrey**

Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher

**Tyrkin, Igor**

Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher

**Obrazov, Vladimir**

Leading engineer

**Bondar, Roman**

Specialist

УДК 574.5 (282.05+289)

## ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА МАКРО- И МЕЙОБЕНТОСА ЛАГУННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ КУТОВОЙ ОБЛАСТИ КИСЛОЙ ГУБЫ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

А. П. Столяров

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
(Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119234)

Проанализирована видовая и пространственная структура макро- и мейобентоса лагунной экосистемы губы Кислой (Кандалакшский залив Белого моря). Всего обнаружено 32 вида бентосных организмов (включая 11 видов личинок беспозвоночных) и 9 видов морских трав и водорослей. Учет групп эвмейобентоса велся до крупных таксонов (нематоды, гарпактикоидные копеподы, остракодовые раки, турбеллярии). Установлено, что в лагуне наиболее высокая общая биомасса макробентосных организмов наблюдалась преимущественно в нижнем горизонте литорали и на выходе из лагуны (высокая биомасса популяций *Mytilus edulis*), а мейобентоса – в среднем и верхнем горизонтах и в кутовом районе. Это может свидетельствовать о комплементарном характере распределения мейо- и макробентоса: повышении роли мейофауны в местах некоторого угнетения развития макробентоса. При анализе сходства мейо- и макробентоса различных биотопов обнаружилось отличие в видовой структуре сообществ трех горизонтов литорали – верхнего, среднего и нижнего. При этом сообщества нижнего и среднего горизонта характеризовались большим сходством видовой структуры, чем сообщества верхнего горизонта литорали. Отличия же структурных характеристик сообщества в продольном направлении – по мере повышения солености воды менее выражены (особенно если сравнивать с соответствующими структурными изменениями мейо- и макробентоса в эстуарии р. Черной). Вероятно, это связано с более мягким солевым режимом исследуемой лагуны по сравнению с эстуарием р. Черной, меньшим влиянием данного фактора на распределение гидробионтов и, соответственно, меньшими изменениями видовой структуры сообщества в продольном направлении – от кутовых районов лагуны к морю.

Ключевые слова: лагунные экосистемы; мейо- и макробентос; видовое разнообразие; пространственная структура; Белое море

Для цитирования: Столяров А. П. Особенности пространственной структуры сообщества макро- и мейобентоса лагунной экосистемы кутовой области Кислой губы (Кандалакшский залив, Белое море) // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 88–100. doi: 10.17076/eco1572

Финансирование. Исследование выполнено в рамках программы развития междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».



## A. P. Stolyarov. FEATURES OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE MACRO- AND MEIOBENTHOS COMMUNITY OF THE LAGOON ECOSYSTEM OF KISLAYA BAY HEAD (GULF OF KANDALAKSHA, WHITE SEA)

Lomonosov Moscow State University (1 Leninskiye Gory, 119234 Moscow, Russia)

The spatial and species structure of meio- and macrobenthos communities of the Kislaya Bay (Gulf of Kandalaksha, White Sea) lagoon ecosystem was analysed. A total of 32 species of benthic organisms (including 11 species of invertebrate larvae) and 9 species of seagrasses and algae were found. Eumeiobenthos groups were identified to the level of large taxa (nematodes, harpacticoids, ostracods, turbellaria). The highest total biomass of macrobenthos organisms was mainly observed in the lower horizon of the littoral zone and at the exit from the lagoon (high biomass of *Mytilus edulis* populations). For meiobenthos biomass was the highest in the middle and upper littoral horizons and in the bayhead. This may indicate a complementary distribution of meio- and macrobenthos: the role of meiofauna grew where macrobenthos development was somewhat inhibited. An analysis of the similarity of meio- and macrobenthos of different habitats revealed differences in the species structure of communities between the three littoral horizons – upper, middle, and lower. Communities of the lower and middle horizons of the littoral zone exhibited a greater similarity of the species structure than communities of the upper horizon. The differences in the structural characteristics of the community lengthwise – with increasing water salinity, are less pronounced (especially when compared with the corresponding structural changes in meio- and macrobenthos in the Chyornaya River estuary). This is probably due to the milder salinity conditions in the lagoon versus the Chyornaya River estuary, lower impact of this factor on the distribution of aquatic organisms and, accordingly, smaller change in the species structure of the community lengthwise – from the bayhead towards the sea.

**Keywords:** lagoon ecosystems; macro- and meiobenthos; species diversity; spatial structure; White Sea

For citation: Stolyarov A. P. Features of the spatial structure of the macro- and meiobenthos community of the lagoon ecosystem of Kislaya Bay head (Gulf of Kandalaksha, White sea). *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 88–100. doi: 10.17076/eco1572

**Funding.** The study was carried out within the development program of the Lomonosov Moscow State University's Interdisciplinary Research and Education School "Future of the Planet nad Globa Environmental Change".

### Введение

Прибрежные лагунные экосистемы – это в большинстве случаев мелководные водоемы, отделенные от моря барьером (наносными косами, порогами, островами и др.) и связанные с ним (постоянно или временно) одним или несколькими узкими проливами [Kjerfve, 1994; Зданович, Криксунов, 2004; Labay et al., 2016]. В приливных лагунных экосистемах наиболее заметными факторами, влияющими на структуру формирующихся здесь сообществ мейо- и макробентоса, являются гидрологический и солевой режимы водоема, характер грунта, осушение, pH и Eh среды, различного рода органические и химические загрязнения и др. [Кусакин, 1977; Шереметевский, 1987, 1991; Гальцова, 1991; Удалов и др., 2004, 2005; Бурковский, 2006; Столяров, Бурковский, 2008; Максимов, Петухов, 2011; Khlebovich, 2015; Labay et al., 2016; Комплексные..., 2016; De Wit et al., 2017; Столяров, 2017;

Franzo et al., 2019; Stolyarov, 2019, 2020; Stolyarov, Mardashova, 2021].

Ранее были рассмотрены пространственная и трофическая структура макробентоса в нескольких прибрежных лагунах Белого моря без учета мейобентосных сообществ [Stolyarov, 2019, 2020; Столяров, 2021; Stolyarov, Mardashova, 2021]. Мейофауна по сравнению с макробентосом в целом менее чувствительна к различного рода изменениям окружающей среды и способна быстро восстанавливаться после нарушений благодаря высокой скорости роста и размножения [Шереметевский, 1987, 1991; Гальцова, 1991; Удалов и др., 2004, 2005; Austen, Widdicombe, 2006; Столяров, Бурковский, 2008; Максимов, Петухов, 2011].

Цель настоящей работы состояла в изучении особенностей видовой и пространственной структуры макро- и мейобентосных сообществ в небольшой лагунной экосистеме Кандалакшского залива Белого моря. Сов-

местных исследований мейо- и макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах еще недостаточно, поэтому данная работа актуальна и может пролить свет на некоторые вопросы формирования и деградации этих уникальных экосистем.

## Материалы и методы

Исследование проводили в лагуне, расположенной в кутовой области Кислой губы рядом с Ершовским озером в июле – начале сентября 2016–2018 гг. Пробы мейо- и макробентоса отбирали на 5–6 постоянных разрезах, расположенных последовательно вдоль лагуны в направлении от кутового района к морю по мере увеличения солености воды (рис. 1).

Макробентос отбирали с шести разрезов. Каждый разрез включал станции верхней, средней и нижней литорали (18) и сублиторали (7) (рис. 1).

В приливно-отливной полосе на каждой станции брали два вида проб – рамками 12,5×12,5 и 25×25 см. Мелкие организмы, такие как *Hydrobia ulvae*, мелкие полихеты и олигохеты, собирали на участке 12,5×12,5 см общей площадью 1/64 м<sup>2</sup> до глубины 8–10 см. Организмы средних размеров учитывали под рамкой 25×25 см общей площадью 1/16 м<sup>2</sup> до глубины залегания плотной безжизненной глины (20–35 см). Крупных беспозвоночных, глубоко зарывающихся в грунт (*Arenicola marina* и *Mya arenaria*), учитывали по норкам на площади 1 м<sup>2</sup> и путем выкапывания пробных экземпляров. На нижней литорали (а иногда и на средней) к стандартному пробоотбору добавлялся отбор в скоплениях *Mytilus edulis*. Дополнительно определяли проективное покрытие пляжа скоплениями мидии. Грунт, взятый с площади 1/64 и 1/16 м<sup>2</sup>, аккуратно промывался на сите с ячейей 0,5 и 1 мм соответственно.

Сублиторальный макробентос отбирали с помощью дночерпателя Экмана – Берджа с площадью захвата 0,025 м<sup>2</sup>. Грунт промывали на сите с ячейей 1 мм.

Пробы просматривали прижизненно в лаборатории. Для расчета биомассы определяли сырой вес организмов.

Мейобентос отбирали на пяти постоянных разрезах, расположенных на литорали вдоль лагуны от более опресненного кутового района к мористой области. Каждый разрез представлял собой три станции, соответствующие трем горизонтам литорали: нижнему, среднему и верхнему. На каждой станции отобрано 5 проб под площадью 1 см<sup>2</sup> каждая на глубину 5 см. Полученные пробы грунта обработаны по

стандартной методике, принятой для мейобентоса, с использованием газа с диаметром ячеей 70 мкм. При этом просматривали и осадок на фильтре, и профильтрованную через газ взмученную воду. Биомассу мейобентоса пересчитывали исходя из размеров и средней индивидуальной массы представителя каждой группы [Численко, 1968; Шереметевский, 1987; Удалов и др., 2005; Мокиевский, 2009].

Параллельно со сбором гидробиологического материала измеряли важнейшие параметры среды: соленость (с помощью кондуктометра) на малой (конец отлива – начало прилива) и полной воде в придонном слое (конец прилива – начало отлива), характер грунта (просеиванием через ряд последовательных сит с размером ячеей 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм), pH и Eh среды, а также глубину в сублиторали с помощью маркированного конца с якорем.

Для каждой станции получены плотность и биомасса видовых популяций, а также подсчитаны индексы видового разнообразия Шеннона [Shannon, 1948].

Для оценки сходства сообществ, формирующихся на разных станциях (количественные данные), проводили кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матриц сходства Пианки [Pianka, 1974]:

$$a_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^S P_{ik} \times P_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^S P_{ik}^2 \times P_{jk}^2}},$$

где  $P_{ik}$ ,  $P_{jk}$  – доля  $k$ -го вида для станций  $i$  и  $j$ ,  $S$  – число видов.

Этот индекс малочувствителен к различиям по редким признакам, что позволяет нивелировать влияние «хвоста» случайных видов.

При проведении кластерного анализа по качественному составу макрозоофитобентоса использовали индекс сходства Дайса – Сьоренсена [Dice, 1945; Sørensen, 1948]:

$$K = 2c / (a + b + 2c),$$

где  $c$  – число общих видов для станций  $X$  и  $Y$ ,  $a$  и  $b$  – число видов, отмеченных лишь у одной из станций.

Для выбора приемлемой степени дробности полученных кластеров использовался критерий «значимого сходства», который рассчитывается как верхняя 95% доверительная граница среднего сходства.

Статистический анализ данных проведен с помощью пакетов прикладных программ PAST v. 3.24 [Hammer et al., 2001] и MS Excel 2010.

## Результаты и обсуждение

**Абиотические факторы и характеристика района исследования.** Лагунная экосистема кутовой области губы Кислой расположена в 2,5 км от ББС МГУ (Кандалакшский залив, 66°53' с.ш. 33°07' в.д.) и отделена от основного бассейна порогами (рис. 1). Исследованная экосистема составляла примерно 0,5 км в длину и характеризовалась небольшими глубинами (максимальные глубины 3–5 м). Приливно-отливная полоса данной экосистемы не такая широкая, как в расположенных рядом экосистемах Ермолинской и Никольской губ с преобладанием песчанисто-илистых и илисто-песчанистых осадков [Stolyarov, 2019, 2020]. Сублитораль лагуны представлена в основном песчанистыми илами и илами. Соленость придонной воды в период взятия проб (июль–сентябрь) была относительно высокой (22–25 ‰), за исключением района кутовой части лагуны, примыкающей к Ершовскому озеру, где она снижалась до 15–19 ‰ [Stolyarov, 2020].

Показатели Eh поверхностного слоя осадка были выше в верхних горизонтах литорали, контактирующей с кислородом воздуха значительно большее время. Значения pH грунта

сильно варьировали и зависели от локальных условий литоральной зоны, и все же в целом чуть снижались в кутовой части лагуны (более опресненная область) и в верхних горизонтах осушной полосы.

**Видовой состав и разнообразие сообщества.** Всего за исследованный период обнаружено 32 вида макрозообентосных животных, включая их личинок (11 видов), и 9 видов морских трав и водорослей (табл. 1). При этом наибольшего разнообразия достигали полихеты (11 видов), моллюски (5 видов брюхоногих и 4 вида двустворчатых моллюсков) и ракообразные (3 вида), из иглокожих встречен всего 1 вид. Заметную роль в сообществе макрозообентоса играли солонатоводные олигохеты (2 вида) и хирономиды (3 вида) (табл. 1). Из макрофитов преобладали солончаковые растения, распространенные в основном в верхней литорали (*Juncus atrofuscus*, *Salicornia pojarkovae*, *Triglochin maritimum*, *Ruppia maritima*, *Puccinellia maritima*). Морские водоросли (*Fucus vesiculosus*, *Cladophora sericea*) и морская трава *Zostera marina* преимущественное развитие получали в нижней литорали, в средней и верхней сублиторали встречались частично (табл. 1).

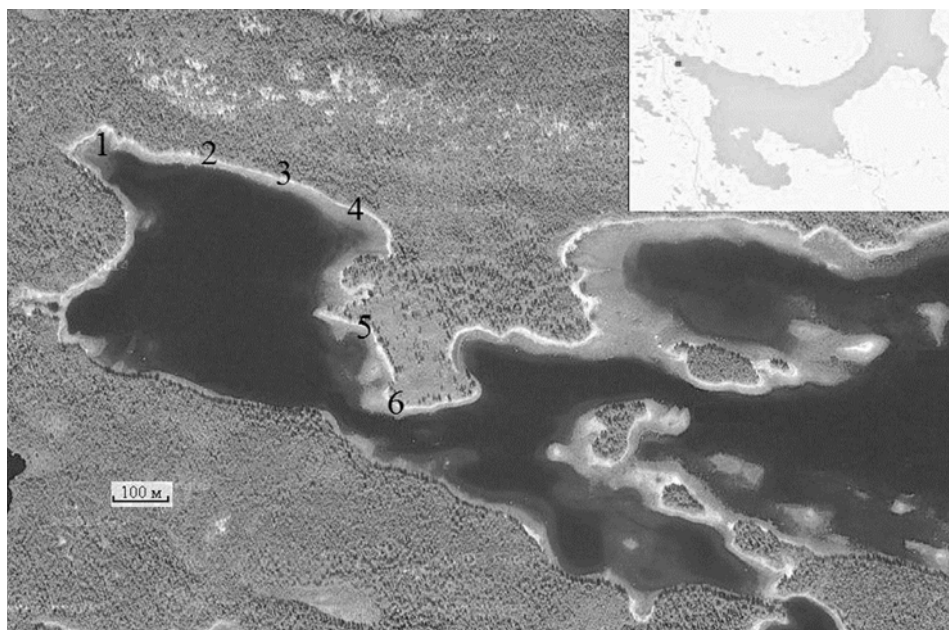


Рис. 1. Карта-схема района исследования и расположение разрезов (1–6). На каждом разрезе брались пробы на трех станциях: в нижней, средней, верхней литорали (для мейо- и макробентоса) и в сублиторали (только для макробентоса)

Fig. 1. A schematic map of the study area, as well as the location of the sections (1–6). At each section, samples were taken at three stations: in the lower, middle, upper littoral (for meio- and macrobenthos) and in the sublittoral (only for macrobenthos)

Таблица 1. Список видов макробентоса, встреченных в лагунной экосистеме кутового района губы Кислой  
 Table 1. List of macrobenthos species found in the lagoon ecosystem of the head of the Kislaya Inlet

Макробентос Macrobenthos	Лагуна кутовой области Кислой губы Lagoon of the head of the Kislaya Inlet			
	1	2	3	4
Зообентос/Zoobenthos:				
кл. Polychaeta				
1. <i>Nereimyra punctata</i> (Müller, 1788)	+	-	-	-
2. <i>Pygospio elegans</i> Claparede, 1863*	-	+	+	-
3. <i>Scoloplos armiger</i> (O. F. Müller, 1776)*	+	+	+	-
4. <i>Arenicola marina</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	+	-
5. <i>Alitta virens</i> M. Sars, 1835	-	-	+	-
6. <i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780)	-	+	+	-
7. <i>Fabricia sabella</i> (Ehrenberg, 1836)*	-	-	+	-
8. <i>Micronephthys minuta</i> (Theel, 1879)	+	-	-	-
9. <i>Terebellides stroemi</i> Sars, 1835*	+	-	-	-
10. <i>Pectinaria koreni</i> (Malmgren, 1866)	+	-	-	-
11. <i>Phylodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)	+	-	-	-
кл. Enteropneusta				
12. <i>Saccoglossus mereschkowskii</i> Wagner, 1885	+	-	-	-
кл. Oligochaeta				
13. <i>Paranais litoralis</i> (Müller, 1780)	-	-	+	+
14. <i>Tubificoides benedii</i> (d'Udekem, 1855)*	-	+	+	+
кл. Gastropoda				
15. <i>Littorina littorea</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	+	+
16. <i>L. saxatilis</i> (Olivi, 1792)*	-	+	+	+
17. <i>L. obtusata</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	+	-
18. <i>Hydrobia ulvae</i> (Pennant, 1777)*	+	+	+	+
19. <i>Cylichna alba</i> (Brown, 1827)	+	-	-	-
кл. Bivalvia				
20. <i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758*	+	+	+	+
21. <i>Limecola (Macoma) balthica</i> (Linnaeus, 1758)*	+	+	+	+
22. <i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758	+	+	+	-
23. <i>Astarte montagui</i> (Dillwyn, 1817)	+	-	-	-
кл. Crustacea				
24. <i>Jaera albifrons</i> Leach, 1814*	-	+	-	-
25. <i>Gammarus duebeni</i> Lilljeborg, 1852	-	-	-	+
26. <i>Pontoporeia femorata</i> Krøyer, 1842	+	-	-	-
кл. Asteroidea				
27. <i>Asterias rubens</i> Linnaeus, 1758	-	+	-	-
кл. Insecta				
28. <i>Chironomus salinarius</i> Kieffer, 1915*	-	+	+	-
29. <i>Cladotanytarsus mancus</i> Walker, 1856	+	+	+	-
30. <i>Orthocladius saxicola</i> Kieffer, 1911	+	-	-	-
тип Nemertini				
31. <i>Amphiporus lactifloreus</i> (Johnston, 1828)	+	+	-	-
32. <i>Lineus gesserensis</i> (O. F. Müller, 1774)	+	+	+	-
Макрофиты (морские травы и водоросли) Macrophytes (sea grasses and algae):				
1. <i>Zostera marina</i> Linnaeus, 1753	+	+	+	-
2. <i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützing, 1843	+	+	+	+
3. <i>Fucus vesiculosus</i> Linnaeus, 1753	+	+	-	+
4. <i>Juncus atrofuscus</i> Rupr. Printz (1921)	-	-	-	+
5. <i>Aster tripolium</i> (Linnaeus, 1753)	-	+	+	-
6. <i>Salicornia pojarkovae</i> N. Semenova, 1956	-	-	-	+
7. <i>Triglochin maritimum</i> Linnaeus, 1753	-	-	-	+
8. <i>Ruppia maritima</i> Linnaeus, 1753	-	-	+	+
9. <i>Puccinellia maritima</i> (Hudson) Parl., 1850	-	-	-	+

Примечание. «+» – наличие вида, «-» – вид не найден. 1 – сублитораль, 2 – нижняя литораль, 3 – средняя литораль, 4 – верхняя литораль. \* – обнаружены ювенильные стадии развития (псевдомейобентос).

Note. «+» – species has been registered, «-» – species not found. 1 – sublittoral, 2 – lower littoral, 3 – middle littoral, 4 – upper littoral. \* – juvenile stages of development (pseudomeiobenthos) have been detected.

Изменения общих показателей структуры сообщества макробентоса происходили в основном в вертикальном направлении – относительно мареографического уровня. В продольном направлении пространственная структура сообщества макробентоса немного менялась, особенно в кутовом районе, где в основном преобладали собирающие детритофаги (*H. ulvae*, *Chironomus salinarius*, *Tubificoides benedii*, *Macoma balthica*), и на выходе из лагуны в районе мидиевой щетки, где доминировали неподвижные сестонофаги *M. edulis* с более высокой биомассой сообщества (табл. 2). При этом структура сообществ верхней литорали мало менялась на всем протяжении губы при доминировании мелких гидробий, олигохет и *Littorina saxatilis*. Популяции *M. edulis* в небольшом количестве

встречались практически на всем протяжении лагуны.

Интегральные показатели структуры сообщества макробентоса (видовое разнообразие, общая плотность, общая биомасса) в лагунной экосистеме увеличивались преимущественно от верхней литорали к средней и нижней и немного снижались к сублиторали (табл. 2). Сообщества верхней литорали и соленого марша из-за неблагоприятных условий жизни для большинства беспозвоночных животных в этом биотопе (значительное осушение и опреснение) были существенно обеднены и представлены в основном мелкими эвритопными видами – брюхоногими моллюсками *H. ulvae*, олигохетами *Paranais littoralis* и *Tubificoides benedii* и в меньшей степени скоблильщиками *L. saxatilis* (табл. 1, 2). Снижение общих показателей структуры сообществ

Таблица 2. Общие показатели структуры макробентосного сообщества

Table 2. General indices of the structure of the macrobenthos community

Подсистемы и районы лагуны Subsystems and areas of the lagoon							
Интегральные показатели структуры сообщества Integral indices of the community structure	1 р-з (кут) 1 <sup>st</sup> section (head)	2 р-з 2 <sup>nd</sup> section	3 р-з 3 <sup>rd</sup> section	4 р-з 4 <sup>th</sup> section	5 р-з 5 <sup>th</sup> section	6 р-з пороги (выход из лагуны) 6 <sup>th</sup> section rapids (lagoon outlet)	Среднее Average
Сублитораль Sublittoral							
<i>S</i>	2 (5)	6	9	4	6	5	5,2 ± 0,8
<i>N</i> , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	1320 (640)	600	2400	240	1520	600	1046 ± 282
<i>B</i> , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	3,8 (98)	99	132	3,4	7,4	106	64 ± 21
<i>H<sub>N</sub></i>	0,2 (1,8)	2,3	2,4	1,9	2	2,2	1,8 ± 0,3
Нижняя литораль Lower littoral							
<i>S</i>	6	8	8	11	9	9	8,5 ± 0,7
<i>N</i> , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	7360	23955	14161	14586	19616	18179	16309 ± 2313
<i>B</i> , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	133	222	1314	412	674	2304	1176 ± 379
<i>H<sub>N</sub></i>	1,01	0,86	0,81	1,01	0,4	2,0	1,0 ± 0,2
Средняя литораль Middle littoral							
<i>S</i>	5	8	7	12	8	6	7,7 ± 1,0
<i>N</i> , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	3328	25074	17057	20019	16718	20480	17113 ± 3019
<i>B</i> , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	353	213	227	473	150	243	277 ± 48
<i>H<sub>N</sub></i>	0,65	0,54	0,69	1,19	0,42	0,96	0,74 ± 0,12
Верхняя литораль Upper littoral							
<i>S</i>	2,5	3	5	1,5	3	0	2,5 ± 0,7
<i>N</i> , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>	624	13536	7920	2152	576	0	4135 ± 2227
<i>B</i> , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	3,2	112	64	2,2	70	0	42 ± 19
<i>H<sub>N</sub></i>	1,2	0,34	0,13	0,11	1,22	0	0,5 ± 0,2

Примечание. *S* – число видов, *N* – общая плотность, *B* – общая биомасса, *H<sub>N</sub>* – индекс Шеннона по плотности популяций. В скобках указаны значения для станций одного разреза. Здесь и в табл. 3: «±» – стандартная ошибка.

Note. *S* – number of species, *N* – total density, *B* – total biomass, *H<sub>N</sub>* – Shannon index for population density. The values for the stations of the same section are indicated in parentheses. Here and in Table 3: «±» – standard error.

щества в сублиторали вызвано значительным заилением дна этого водоема и, как следствие, уменьшением плотности популяций или отсутствием видов, характерных для нижней и средней литорали (*M. edulis*, *Littorina littorea*, *M. arenaria*, *H. ulvae*, *M. balthica*, *A. marina*, *T. benedii*) при доминировании комплекса менее многочисленных и в основном менее эвригалинных видов *M. balthica*, *Nereimyra punctata*, *Micronephthys minuta*, *Pontoporeia femorata*, *Pectinaria koreni*, *Terebellides stroemi*, *Saccoglossus mereschkowskii*, *Astarte montagui* (табл. 2).

Индексы видового разнообразия Шеннона по плотности видовых популяций увеличивались от верхней литорали (0,5 в среднем) к средней (0,7), нижней (1,0) и сублиторали (1,8) (табл. 2). Надо отметить, что наиболее низкие значения индексов видового разнообразия

наблюдались в биотопе верхней литорали, видовой состав которой беден и вариабелен при резком доминировании *H. ulvae* и олигохет, а наиболее высокие – в сублиторали, сообщество которой более разнообразно и выровнено по плотности популяций (табл. 2).

#### Структура сообщества мейобентоса.

Учет групп эвмейобентоса велся до крупных таксонов (Nematoda, Ostracoda, Harpacticoida, Turbellaria), а псевдомейобентоса (ювенильные стадии развития макробеспозвоночных животных) – до видов (табл. 3). Всего обнаружено 11 видов личинок беспозвоночных (табл. 1). Наиболее существенный вклад в общую плотность сообщества мейобентоса вносят нематоды, составляя в среднем 50–93 % от общей плотности сообщества мейобентоса, а в общую биомассу – псевдомейобентос (в среднем

Таблица 3. Общие показатели структуры мейобентосного сообщества

Table 3. General indices of the structure of the meiobenthos community

Подсистемы и районы лагуны Subsystems and areas of the lagoon							
Интегральные показатели структуры сообщества Integral indices of the community structure	1 р-з (кит) 1 <sup>st</sup> section (head)	2 р-з 2 <sup>nd</sup> section	3 р-з 3 <sup>rd</sup> section	4 р-з 4 <sup>th</sup> section	5 р-з 5 <sup>th</sup> section	6 р-з (выход из лагуны) 6 <sup>th</sup> section (lagoon outlet)	Среднее Average
Нижняя литораль Lower littoral							
$N \times 10^3$ , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	72	392	176	66	-	522	245,6 ± 90,6
Эвмейобентос Eumeiobenthos	34	372	160	48	-	450	212,8 ± 84,5
Nematoda	8	366	48	34	-	444	180 ± 92,9
Ostracoda	10	0	14	0	-	2	5,2 ± 2,87
Harpacticoida	8	6	98	14	-	4	26 ± 8,01
Turbellaria	8	0	0	0	-	0	1,6
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	38	20	16	18	-	72	32,8 ± 10,5
$B$ , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	6,03	5,02	1,24	2,09	-	7,89	4,45 ± 1,24
Эвмейобентос Eumeiobenthos	0,60	0,27	0,81	0,09	-	0,40	0,43 ± 0,12
Nematoda	0,01	0,24	0,02	0,02	-	0,32	0,12 ± 0,06
Ostracoda	0,27	0,0	0,19	0,0	-	0,05	0,10 ± 0,06
Harpacticoida	0,09	0,03	0,60	0,07	-	0,03	0,16 ± 0,11
Turbellaria	0,23	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,05
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	5,43	4,75	0,43	2,0	-	7,49	4,02 ± 1,26

Окончание табл. 3  
Table 3 (continued)

Подсистемы и районы лагуны Subsystems and areas of the lagoon							
Интегральные показатели структуры сообщества Integral indices of the community structure	1 р-з (кут) 1 <sup>st</sup> section (head)	2 р-з 2 <sup>nd</sup> section	3 р-з 3 <sup>rd</sup> section	4 р-з 4 <sup>th</sup> section	5 р-з 5 <sup>th</sup> section	6 р-з (выход из лагуны) 6 <sup>th</sup> section (lagoon outlet)	Среднее Average
Средняя литораль Middle littoral							
$N \times 10^3$ , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	320	110	158	436	-	582	321,2 ± 87,3
Эвмейобентос Eumeiobenthos	306	60	134	374	-	476	270 ± 76,5
Nematoda	196	44	108	334	-	444	225,2 ± 73,2
Ostracoda	26	0	4	6	-	0	7,2 ± 4,8
Haracticoida	84	16	22	34	-	16	34,4 ± 12,8
Turbellaria	0	0	0	0	-	16	3,2
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	14	50	24	62	-	106	51,2 ± 16,2
$B$ , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	2,22	7,81	1,96	1,80	-	13,73	5,51 ± 2,35
Эвмейобентос Eumeiobenthos	1,07	0,14	0,21	0,43	-	0,75	0,52 ± 0,17
Nematoda	0,13	0,03	0,05	0,15	-	0,23	0,12 ± 0,04
Ostracoda	0,36	0,0	0,05	0,09	-	0,0	0,10 ± 0,07
Haracticoida	0,58	0,11	0,12	0,18	-	0,11	0,22 ± 0,09
Turbellaria	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,41	0,08
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	1,15	7,68	1,75	1,38	-	12,98	4,99 ± 2,34
Верхняя литораль Upper littoral							
$N \times 10^3$ , экз./м <sup>2</sup> ind./m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	362	108	80	184	-	156	178 ± 49,4
Эвмейобентос Eumeiobenthos	322	92	46	152	-	132	148,8 ± 46,9
Nematoda	198	16	18	94	-	48	74,8 ± 33,9
Ostracoda	4	0	4	0	-	4	2,4 ± 1,0
Haracticoida	120	76	22	58	-	80	71,2 ± 15,9
Turbellaria	0	0	2	0	-	0	0,4
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	40	16	34	32	-	24	29,2 ± 4,2
$B$ , г/м <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>							
Мейобентос Meiobenthos	7,18	0,96	1,43	2,11	-	2,70	2,9 ± 1,1
Эвмейобентос Eumeiobenthos	0,91	0,58	0,44	0,46	-	0,80	0,64 ± 0,09
Nematoda	0,10	0,01	0,02	0,07	-	0,04	0,05 ± 0,02
Ostracoda	0,05	0,0	0,11	0,0	-	0,06	0,04 ± 0,02
Haracticoida	0,76	0,57	0,24	0,39	-	0,7	0,53 ± 0,10
Turbellaria	0,0	0,0	0,07	0,0	-	0,0	0,02
Псевдомейобентос Pseudomeiobenthos	6,27	0,38	0,99	1,65	-	1,90	2,24 ± 1,04

Примечание.  $N$  – общая плотность,  $B$  – общая биомасса.

Note.  $N$  – total density,  $B$  – total biomass.

69–82 %), за ним следуют гарпактикоиды, остракодовые раки и нематоды (табл. 3).

Общая плотность эвмейобентоса в лагуне наиболее высокая в средней литорали снижалась в нижней (в 1,27 раза) и верхней (в 1,8 раза) (табл. 3). Общая биомасса эвмейобентоса в лагуне была самой низкой в нижнем горизонте литорали, увеличиваясь в сторону средней (в 1,20 раза) и верхней (в 1,45 раза) литорали (табл. 3). Таким образом, в лагуне наблюдалось увеличение плотности и биомассы эвмейобентоса от нижнего горизонта литорали в сторону среднего и верхнего горизонтов, что связано с увеличением плотности и биомассы группы гарпактикоидных копепод, нематод и турбеллярий в этом направлении (табл. 3). При этом гарпактикоидов было больше в верхней литорали, а нематод и турбеллярий – в средней (табл. 3). Остракодовые раки имели более высокую плотность и биомассу в средней и нижней литорали (табл. 3).

Показатели общей плотности и биомассы ювенильных стадий развития макрозообентоса (псевдомейобентос) были более высокими в среднем и нижнем (немного ниже) горизонтах литорали и снижались в верхнем горизонте при доминировании *T. benedii*, *M. balthica*, *H. ulvae*, *M. edulis* (табл. 3).

Таким образом, обнаружена тенденция повышения общей плотности и биомассы сообщества эвмейобентоса от нижнего горизонта литорали в сторону среднего и верхнего, а псевдомейобентоса – от верхнего горизонта в сторону среднего и нижнего (немного ниже) горизонтов.

В продольном направлении пространственная структура сообщества мейобентоса немного менялась, но не так сильно, как в вертикальном. Общая плотность эвмейобентоса в нижней и средней литорали была выше в мористом районе, а общая биомасса – в кутовом (табл. 3). Это связано с преобладанием многочисленной группы нематод в мористом районе, а остракодовых раков с высокой биомассой – в кутовом, более опресненном местообитании. В верхней литорали общая биомасса и плотность популяций эвмейобентоса были выше в более опресненном кутовом районе лагуны, что объясняется значительным заилением верхней литорали кутового района и преобладанием там нематод, остракоид и гарпактикоидов (табл. 3).

Общая плотность и биомасса псевдомейобентоса в нижней и средней литорали были выше в мористом районе (преобладали *M. balthica*, *H. ulvae*, *T. benedii*, *Pygospio elegans*, *M. edulis*, *Fabricia sabella*, *Scoloplos armiger*), расположенном на выходе из лагуны, а

в верхней литорали – в кутовой области, где преобладала молодь *T. benedii*, *Chironomus salinarius*, *M. balthica* (табл. 3).

**Пространственная структура сообщества (сходство станций).** При анализе дендрограмм сходства станций по качественному составу макрофитозообентоса или биомассе макрозообентоса (кластерограммы практически повторяют друг друга) обнаружилось отличие сообществ разных горизонтов литорали – верхнего (ст. 20–23), среднего и нижнего (ст. 8–16) и sublиторали (ст. 3–6, 1, 5) (рис. 2). Надо отметить меньшее сходство sublиторальных сообществ макробентоса с литоральными, которые характеризовались большим видовым разнообразием и преобладанием комплекса морских менее эвригалинных видов (*Scoloplos armiger*, *Nereimyra punctata*, *Micronephthys minuta*, *Pontoporeia femorata*, *Phyllodoce maculata*, *T. stroemi*, *Saccoglossus mereschkowskii*). При этом на литорали, где преобладали *H. ulvae*, *M. balthica*, *M. edulis*, *T. benedii*, наблюдалось большее сходство

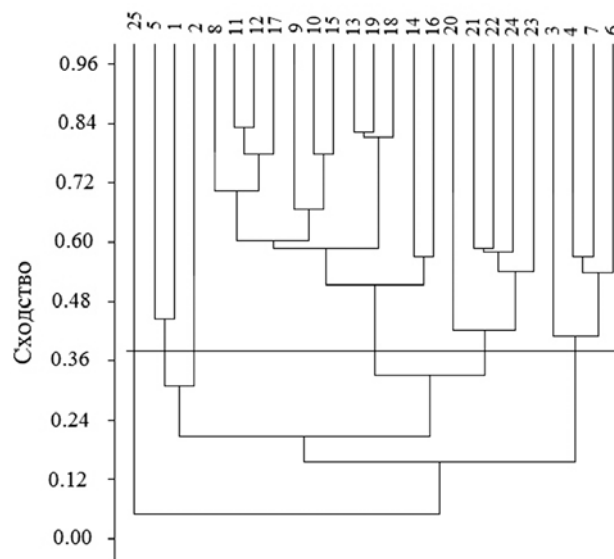


Рис. 2. Дендрограмма сходства сообществ (станций) по качественному составу макрофитозообентоса в лагунной экосистеме кутовой области Кислой губы:

1–7 – sublитораль, 8–13 – нижняя литораль, 14–19 – средняя литораль, 20–25 – верхняя литораль. Горизонтальной линией показан уровень значимого сходства

Fig. 2. Dendrogram of similarity of communities (stations) in the qualitative composition of macrophytozoobenthos in the lagoon ecosystem of the head of the Kislaya Inlet:

1–7 – sublittoral, 8–13 – lower littoral, 14–19 – middle littoral, 20–25 – upper littoral. The horizontal line shows the level of significant similarity



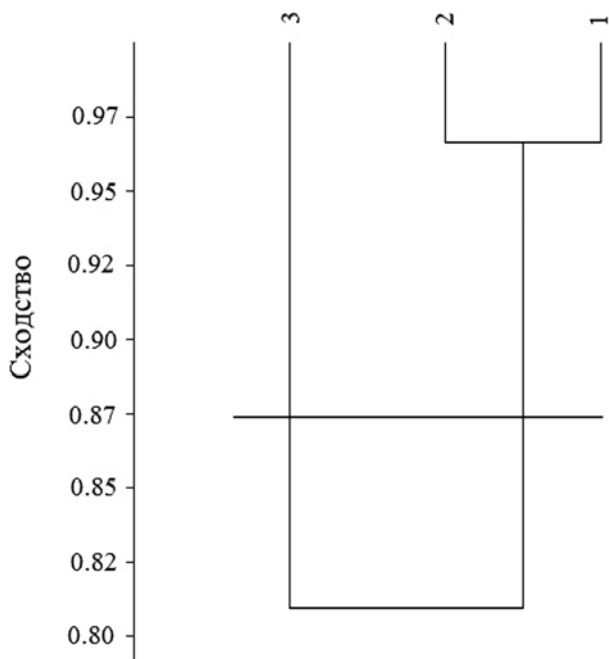


Рис. 3. Дендрограмма сходства (индекс Пианки) сообществ мейобентоса (по средней биомассе эвмейобентоса (группы) и псевдомейобентоса (виды)) в лагунной экосистеме кутовой области Кислой губы:

1 – нижняя литораль, 2 – средняя литораль, 3 – верхняя литораль. Горизонтальной линией показан уровень значимого сходства

Fig. 3. Dendrogram of similarity (Pianka index) of the meiobenthos communities (according to the average biomass of eumeiobenthos (groups) and pseudomeiobenthos (species)) in the lagoon ecosystem of the head of the Kislaya Inlet:

1 – lower littoral, 2 – middle littoral, 3 – upper littoral. The horizontal line shows the level of significant similarity

сообществ макробентоса нижней и средней литорали между собой, чем с сообществом верхней литорали, которое характеризовалось низкими видовым разнообразием и плотностью поселений беспозвоночных животных (в связи со значительным осушением, опреснением, заилением).

Кластерный анализ, выполненный на основе средних биомасс (или просто биомасс и особенно плотности) популяций мейобентоса (групп эвмейобентоса и видов псевдомейобентоса), показывает довольно высокое сходство различных сообществ мейобентоса (рис. 3). Тем не менее на уровне значимого сходства можно выделить сообщество верхней литорали (3) с высокой биомассой эвмейобентоса и сообщества нижней и средней литорали (1 и 2) с более низкой биомассой эвмейобентоса. Что касается личинок беспозво-

ночных животных (псевдомейобентоса), то они в основном преобладали в средней и нижней (немного ниже) (1 и 2) литорали (в основном ювенильные стадии *M. balthica*, *M. arenaria*, *M. edulis*, *T. stroemi*, *P. elegans*). В верхней (3) литорали плотность и биомасса псевдомейобентоса были ниже с преобладанием личинок *T. benedii*, *Ch. salinarius*, *L. saxatilis*, *H. ulvae*.

Таким образом, группировка сообществ (станций) макро- и мейобентоса в основном идет относительно мареографического уровня. В продольном направлении – по мере повышения солености воды от кутовых районов к морю – изменения структурных характеристик сообщества менее выражены (особенно если сравнивать с соответствующими структурными изменениями мейо- и макробентоса в эстуарии р. Черной) [Удалов и др., 2004; Столяров, Бурковский, 2008; Столяров, 2017].

### Заключение

В исследованной лагуне обнаружено 32 вида бентосных организмов, 11 видов личинок беспозвоночных, а также 9 видов морских трав и водорослей. Наибольшего видового разнообразия достигали полихеты (11 видов), моллюски (9 видов) и ракообразные (3 вида). Заметную роль в сообществе макрозообентоса играли солоноватоводные олигохеты (2 вида) и хирономиды (3 вида), что свидетельствует о некотором опреснении этого водоема.

Наиболее существенный вклад в общую плотность сообщества мейобентоса вносят нематоды, составляя в среднем 50–93 % от общей плотности сообщества, а в общую биомассу – псевдомейобентос (в среднем 69–82 %). Наиболее высокая общая биомасса макробентосных организмов наблюдалась преимущественно в нижнем горизонте литорали и на выходе из лагуны (высокая биомасса популяций *Mytilus edulis*), а мейобентоса (особенно эвмейобентоса) – в среднем и верхнем горизонтах литорали и в кутовом районе. Это может свидетельствовать о комплексном характере распределения мейо- и макробентоса: повышении роли мейофауны в местах некоторого угнетения развития макробентоса. Более высокие показатели общей плотности и биомассы личинок беспозвоночных животных в основном отмечались в средней и нижней (немного ниже) литорали, т. е. популяции ювенильных стадий развития макрозообентоса были приближены к популяциям взрослых организмов.

Статистический анализ данных показал, что наиболее сильные отличия в видовом составе,

плотности и биомассе сообщества наблюдаются между верхней литоралью и расположенными ниже горизонтами приливо-отливной полосы. Отличия же структурных характеристик сообщества в продольном направлении, по мере повышения солености воды, менее выражены. Вероятно, это связано с более мягким солевым режимом исследуемой лагуны по сравнению с типичными эстуариями и меньшим влиянием этого фактора на распределение гидробионтов.

## Литература

- Бурковский И. В. Морская биоценология. Организация сообществ и экосистем. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 285 с.
- Гальцова В. В. Мейобентос в морских экосистемах (на примере свободноживущих нематод). Л.: ЗИН АН СССР, 1991. 241 с.
- Зданович В. В., Криксунов Е. А. Гидробиология и общая экология: словарь терминов. М.: Дрофа, 2004. 192 с.
- Кусакин О. Г. Литеральные сообщества // Биология океана. Т. 2. М.: Наука, 1977. С. 111–133.
- Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. Труды Беломорской биостанции МГУ. Т. 12 / Под общ. ред. В. О. Мокиевского, А. И. Исаченко, П. Ю. Дгебуадзе, А. Б. Цетлина. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. 243 с.
- Максимов А. А., Петухов В. А. Роль макро- и мейобентоса в донных сообществах вершины Финского залива // Труды Зоол. ин-та РАН. 2011. Т. 315, № 3. С. 289–310.
- Мокиевский В. О. Экология морского мейобентоса. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2009. 286 с.
- Столяров А. П. Эстуарные экосистемы Белого моря. Владимир: Калейдоскоп, 2017. 360 с.
- Столяров А. П. Особенности видовой, пространственной и трофической структуры сублиторальных и нижнелиторальных сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море) // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 12. С. 57–71. doi: 10.17076/eco1331
- Столяров А. П., Бурковский И. В. Пространственная структура мейобентоса и ее изменения в летний период в эстуарии реки Черной (Кандалакшский залив, Белое море) // Успехи соврем. биол. 2008. Т. 128, № 2. С. 145–159.
- Удалов А. А., Бурковский И. В., Мокиевский В. О., Столяров А. П., Мазей Ю. А., Сабурова М. А., Чертопруд М. В., Чертопруд Е. С., Ильинский В. В., Колобов М. Ю., Пономарев С. А. Изменение основных характеристик микро-, мейо- и макробентоса по градиенту солености в эстуарии Белого моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 4. С. 549–560.
- Удалов А. А., Мокиевский В. О., Чертопруд Е. С. Влияние градиента солености на распределение мейобентоса в эстуарии реки Черная (Белое море) // Океанология. 2005. Т. 45, № 5. С. 719–727.
- Численко Л. Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон). Л.: Наука, 1968. 106 с.
- Шереметевский А. М. Роль мейобентоса в биоценозах шельфа Южного Сахалина, Восточной Камчатки и Новосибирского мелководья // Исследования фауны морей. 1987. Т. 35(43). 136 с.
- Шереметевский А. М. К вопросу о компенсации мейобентоса макробентосом на примере мидиевых банок Белого моря // Экология моря. 1991. Т. 39. С. 89–91.
- Austen M. C., Widdicombe S. Comparison of the response of meio- and macrobenthos to disturbance and organic enrichment // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2006. Vol. 330. P. 96–104.
- De Wit R., Balavoine J., Rey-Valette H., Lifran R., Ouisse V. Restoration ecology of coastal lagoons: New methods for the prediction of ecological trajectories and economic valuation // Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst. 2017. Vol. 27, no. 1. P. 137–157. doi: 10.1002/aqc.2601
- Dice L. R. Measures of the amount of ecologic association between species // Ecology. 1945. Vol. 26, no. 3. P. 297–302.
- Franzo A., Asioli A., Roscioli C., Patrolecco L., Bazzaro M., Del Negro P., Cibic T. Influence of natural and anthropogenic disturbances on foraminifera and free-living nematodes in four lagoons of the Po Delta System // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2019. Vol. 220. P. 99–110.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4, no. 1. P. 1–9.
- Kjerfve B. Coastal lagoons // Coastal lagoon processes / Ed. B. Kjerfve. Elsevier Oceanography Series. Amsterdam, 1994. P. 1–8.
- Khlebovich V. V. Applied aspects of the concept of critical salinity // Biology Bulletin Reviews. 2015. Vol. 5, no. 6. P. 562–567. doi: 10.1134/S2079086415060031
- Labay V. S., Kurilova N. V., Shpilko T. S. Seasonal variability of macrozoobenthos in a lagoon having a periodic connection with the sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin) // Biology Bulletin. 2016. Vol. 43, no. 9. P. 988–1002. doi: 10.1134/S1062359016090144
- Pianka E. R. Niche overlap and diffuse competition // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1974. Vol. 71, no. 5. P. 2141–2145.
- Shannon C. E. The mathematical theory of communication // Bell Syst. Tech. J. 1948. Vol. 27. P. 379–423.
- Stolyarov A. P. Some features of the species, spatial, and trophic structure of macrobenthos in the lagoon systems of the Ermolinskaya and Nikol'skaya inlets (Kandalaksha bay, the White sea) // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2019. Vol. 74, no. 3. P. 176–182. doi: 10.3103/S0096392519030106
- Stolyarov A. P. Species diversity and trophic structure of macrobenthos communities in lagoon ecosystems (Kandalaksha bay, White sea) // Biol. Bull. 2020. Vol. 47, no. 8. P. 887–896. doi: 10.1134/S1062359020080130

Stolyarov A. P., Mardashova M. V. Features of the species and spatial structure of macrobenthos in the Green Cape Lagoon (Kandalaksha Bay, White Sea) // *Biology Bulletin*. 2021. Vol. 48, no. 10. P. 1832–1838. doi: 10.1134/S1062359021100241

Sørensen T. A. A new method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons // *Kngl. Dan. Videnskab. Selskab. Biol. Skr.* 1948. Vol. 5, no. 4. P. 1–34.

## References

Austen M. C., Widdicombe S. Comparison of the response of meio- and macrobenthos to disturbance and organic enrichment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2006;330:96–104.

Burkovskii I. V. Marine biogeocenology. The organization of communities and ecosystems. Moscow: KMK; 2006. 285 p. (In Russ.)

Chislenko L. L. Nomograms for determining the weight of aquatic organisms by size and body shape (marine mesobenthos and plankton). Leningrad: Nauka; 1968. 106 p. (In Russ.)

De Wit R., Balavoine J., Rey-Valette H., Lifran R., Ouisse V. Restoration ecology of coastal lagoons: New methods for the prediction of ecological trajectories and economic valuation. *Aquat. Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* 2017;27(1):137–157. doi: 10.1002/aqc.2601

Dice L. R. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*. 1945;26(3):297–302.

Franzo A., Asioli A., Roscioli C., Patrolecco L., Bazzaro M., Del Negro P., Cibic T. Influence of natural and anthropogenic disturbances on foraminifera and free-living nematodes in four lagoons of the Po Delta System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019;220:99–110.

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.* 2001;4(1):1–9.

Gal'tsova V. V. Meiobenthos in marine ecosystems (on the example of free-living nematodes). Leningrad: ZIN AN SSSR; 1991. 241 p. (In Russ.)

Khlebovich V. V. Applied aspects of the concept of critical salinity. *Biology Bulletin Reviews*. 2015;5(6):562–567. doi: 10.1134/S2079086415060031

Kjerfve B. Coastal lagoons. *Coastal lagoon processes. Elsevier Oceanography Series*. Amsterdam; 1994. P. 1–8.

Kusakin O. G. Littoral communities. *Biologiya okeana = Ocean biology*. Vol. 2. Moscow: Nauka; 1977. P. 111–133. (In Russ.)

Labay V. S., Kurilova N. V., Shpilko T. S. Seasonal variability of macrozoobenthos in a lagoon having a periodic connection with the sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin). *Biology Bulletin*. 2016;43(9):988–1002. doi: 10.1134/S1062359016090144

Maksimov A. A., Petukhov V. A. The role of macro- and meiobenthos in the bottom communities of the top of the Gulf of Finland. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN = Proceed. Zool. Institute RAS*. 2011;315(3):289–310. (In Russ.)

Mokievsky V. O. Ecology of the marine meiobenthos. Moscow: KMK; 2009. 286 p.

Mokievskii V. O., Isachenko A. I., Dgebuadze P. Yu., Tsetlin A. B. (eds.). Comprehensive studies of the Babye Sea Bay, a semi-isolated lagoon in the White Sea: Geology, hydrology, biota – changes against the background of coast transgression. *Trudy Belomorskoj biostantsii MGU = Proceed. The White Sea Biol. Station MSU*. Vol. 12. Moscow: KMK; 2016. 243 p. (In Russ.)

Pianka E. R. Niche overlap and diffuse competition. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1974;71(5):2141–2145.

Shannon C. E. The mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.* 1948;27:379–423.

Sheremetevskii A. M. The role of meiobenthos in the biocenoses of the shelf of southern Sakhalin, eastern Kamchatka and Novosibirsk shallow waters. *Explorations of the Fauna of the Seas*. 1987;35(43). 136 p. (In Russ.)

Sheremetevskii A. M. On the issue of meiobenthos compensation by macrobenthos on the example of mussel jars of the White Sea. *Sea Ecology*. 1991;39:89–91. (In Russ.)

Stolyarov A. P., Burkovskii I. V. Spatial structure of meiobenthos and its changes in the summer period in the estuary of the Chernaya River (Kandalaksha Bay, White Sea). *Uspekhi sovrem. biol. = Advances in Current Biol.* 2008;128(2):145–159. (In Russ.)

Stolyarov A. P. Estuarine ecosystems of the White Sea. Vladimir: Kaleidoskop; 2017. 360 p. (In Russ.)

Stolyarov A. P., Mardashova M. V. Features of the species and spatial structure of macrobenthos in the Green Cape Lagoon (Kandalaksha Bay, White Sea). *Biology Bulletin*. 2021;48(10):1832–1838. doi: 10.1134/S1062359021100241

Stolyarov A. P. Features of the species, spatial and trophic structure of sublittoral and lower littoral macrobenthos communities in coastal lagoon ecosystems (Kandalaksha Bay, White Sea). *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2021;12:57–71. doi: 10.17076/eco1331 (In Russ.)

Stolyarov A. P. Some features of the species, spatial, and trophic structure of macrobenthos in the lagoon systems of the Ermolinskaya and Nikol'skaya inlets (Kandalaksha Bay, White Sea). *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 2019;74(3):176–182. doi: 10.3103/S0096392519030106

Stolyarov A. P. Species diversity and trophic structure of macrobenthos communities in lagoon ecosystems (Kandalaksha Bay, White Sea). *Biology Bulletin*. 2020;47(8):887–896. doi: 10.1134/S1062359020080130

Sørensen T. A. A new method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. *Kngl. Dan. Videnskab. Selskab. Biol. Skr.* 1948;5(4):1–34.

Udalov A. A., Burkovskii I. V., Mokievskii V. O., Stolyarov A. P., Mazei Yu. A., Saburova M. A., Chertoprud M. V., Chertoprud E. S., Il'inskii V. V., Kolobov M. Yu., Ponomarev S. A. Changes in the main characteristics of micro-, meio- and macro-

benthos along the salinity gradient in the estuary of the White Sea. *Oceanology*. 2004;44(4):549–560. (In Russ.)

*Udalov A. A., Mokievskii V. O., Chertoprud E. S.* The influence of the salinity gradient on the distribution of

meiobenthos in the estuary of the Chernaya River (White Sea). *Oceanology*. 2005;45(5):719–727. (In Russ.)

*Zdanovich V. V., Kriksunov E. A.* Hydrobiology and general ecology: Dictionary of terms. Moscow: Drofa; 2004. 192 p. (In Russ.)

*Поступила в редакцию / received: 20.04.2022; принята к публикации / accepted: 11.11.2022.  
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.*

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:**

**Столяров Андрей Павлович**

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник кафедры общей экологии и гидробиологии биологического факультета

*e-mail: macrobenthos@mail.ru*

#### **CONTRIBUTOR:**

**Stolyarov, Andrey**

Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher

УДК 581.526.33 (470.22)

## «ВИСЯЧИЕ» БОЛОТА ЗАПАДНО-КАРЕЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ: РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ДИНАМИКА

О. Л. Кузнецов<sup>1,2\*</sup>, С. А. Кутенков<sup>2</sup>, Л. В. Канцерова<sup>2</sup>, М. А. Бойчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Отдел комплексных научных исследований ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),  
\*kuznetsov@krc.karelia.ru

<sup>2</sup> Институт биологии ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11,  
Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

Исследована группа небольших болотных систем на восточном макросклоне Западно-Карельской возвышенности. Их растительный покров сложен олиготрофными и мезоолиготрофными сфагновыми сообществами. Склоновые («висячие») участки болотных систем заняты здесь мезоолиготрофными сообществами с редким древесным ярусом из *Picea x fennica* и флористически существенно отличаются от типичных эвтрофных «висячих» болот Восточной Фенноскандии. Стратиграфия торфяных залежей исследованных болот свидетельствует о разнообразных сукцессиях в ходе развития, начинавшихся как с водных, так и с суходольных палеосообществ. «Висячие» болота являются редкими для Карелии, они войдут в планируемую региональную ООПТ «Низкогорные ландшафты Центральной Карелии» и могут служить объектами экологического туризма.

Ключевые слова: болотные системы; растительные сообщества; стратиграфия торфяных залежей; сукцессии

Для цитирования: Кузнецов О. Л., Кутенков С. А., Канцерова Л. В., Бойчук М. А. «Висячие» болота Западно-Карельской возвышенности: растительность и динамика // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 101–113. doi: 10.17076/eco1724

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ОКНИ КарНЦ РАН, Институт биологии КарНЦ РАН).

## O. L. Kuznetsov\*, S. A. Kutenkov, L. V. Kantserova, M. A. Boychuk. SLOPING FENS OF THE WEST-KARELIAN UPLAND: VEGETATION AND DYNAMICS

<sup>1</sup> Department for Multidisciplinary Research, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*kuznetsov@krc.karelia.ru

<sup>2</sup> Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

The subject of this study was small mire systems on the eastern slope of the West Karelian Upland. Their vegetation is made up of oligotrophic and mesoligotrophic

Sphagnum-dominated communities. It comprises mesoligotrophic “sloping” sites with a sparse layer of *Picea × fennica* as a feature distinguishing these systems from typical East Fennoscandian sloping fens, which are predominantly eutrophic. The peat deposit stratigraphy of the surveyed fens reveals a variety of development successions, starting from aquatic as well as from dry-land paleocommunities. These mires will be part of the planned regional protected area Low Montane Landscapes of Central Karelia, and can serve as eco-tourism destinations.

**Keywords:** mire systems; plant communities; stratigraphy of peat deposits; successions

For citation: Kuznetsov O. L., Kutenkov S. A., Kantserova L. V., Boychuk M. A. Sloping fens of the West-Karelian Upland: vegetation and dynamics. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 101–113. doi: 10.17076/eco1724

**Funding.** The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRC RAS (Department for Multidisciplinary Research and the Institute of Biology KarRC RAS).

## Введение

Болотные экосистемы широко распространены в таежной зоне и характеризуются высоким разнообразием на типологическом и фитоценоотическом уровнях. Наиболее распространено болотообразование в различных сырых понижениях рельефа, а также путем заболачивания мелководных водоемов. Одними из наиболее специфических типов являются болота, развивающиеся в местах обильных выходов грунтовых вод на склонах разной крутизны в ландшафтах с резко расчлененным рельефом. В этих условиях формируются склоновые болота, названные финским болотоведом В. Ауэром [Auer, 1922] «висячими», название таких болот вошло в мировую болотоведческую терминологию как «sloping fens». Позднее финские болотоведы стали рассматривать их как топологический вариант аапоболот [Ruuhijärvi, 1960; Navas, 1961]. Впервые они были описаны из фенноскандской биогеографической провинции Куусамо (Regio Kuusamoënsis), в которую входит и территория на северо-западе Республики Карелия, включающая национальный парк «Паанаярви» и его окрестности. «Висячие» болота в провинции Куусамо развиваются на склонах сопек со значительными уклонами. Чаще всего они представляют собой узкие болотные системы, включающие как собственно «висячие» участки с местами выклинивания грунтовых вод и тонким слоем торфа (от 20–50 см до 1–1,5 метров), так и более плоские болотца других типов, занимающие депрессии на уступах склонов. Встречаются и маленькие «висячие» болота, развивающиеся только на крутом склоне и занимающие весь участок. Район Куусамо

сложен основными и карбонатными горными породами, поэтому поступающие на эти болота грунтовые воды богаты элементами питания и болота являются эвтрофными с разнообразной флорой, включающей значительное число кальцефильных видов, а также северных, приуроченных к холодным родникам. Ряд «висячих» болот исследованы в НП «Паанаярви» и его окрестностях [Кузнецов, 1995, 2014; Кузнецов, Елина, 1982; Кузнецов и др., 1998], а также на прилегающей территории Финляндии [Navas, 1961; Huttunen, 2007]. «Висячие» болота встречаются во многих горных регионах, они описаны в Мурманской области [Блинова и др., 2017; Кутенков и др., 2019; Копейна и др., 2021], на Урале [Генкель, Осташева, 1933; Ивченко, Денисенков, 2012]. При этом иногда такие болота рассматриваются не как «висячие», а как ключевые, поэтому сведения о них в литературе далеко не полные.

На Западно-Карельской возвышенности, сложенной кислыми породами, также встречаются «висячие» болота. Развиваясь в условиях питания слабоминерализованными водами, они в основном мезотрофные или даже мезоолиготрофные. Несколько таких болот ранее исследованы в окрестностях Костомукши [Елина, Кузнецов, 1977; Кузнецов и др., 1978], озера Тулос [Kuznetsov et al., 1996], а также горы Воттоваара [Кутенков, 2009]. В связи с планированием создания региональной ООПТ в восточной части Западно-Карельской возвышенности проводились комплексные исследования территории, по которой сведения о современном состоянии и разнообразии экосистем были очень фрагментарные [Громцев и др., 2021], данные по болотам вообще отсутствовали.

## Объекты и методы исследований

В августе 2020 года выполнены исследования ряда болотных систем на восточном склоне Западно-Карельской возвышенности ( $63^{\circ}20' - 63^{\circ}30'$  с.ш.  $31^{\circ}54' - 31^{\circ}56'$  в.д.) на г. Ахви (398,6 м н. у. м.) и склонах г. Варгуно (394,5 м н. у. м.) (рис. 1), часть из них включает «висячие» участки. Территория относится к подзоне северной тайги, по болотному районированию Карелии входит в район травяно-сфагновых мезотрофных болот Западно-Карельской возвышенности [Елина и др., 1984]. На этой территории с крупногрядовым рельефом представлены высокие сопки (до 350–400 м), сложенные кислыми коренными породами (кварцитами) с довольно крутыми склонами, покрытые маломощной крупновалунной мореной. Лесной покров представлен старовозрастными сосняками в сочетании с молодняками на местах сплошных рубок [Громцев и др., 2021]. Межгрядовые пониже-

ния заняты озерами и болотами. В южном конце озера Кивиярви (360 м н. у. м.) находится исток реки Суна.

Исследования проводились маршрутным методом. На болотных участках, слагающих болотные системы, выполнялись геоботанические описания по стандартной методике. Синтаксоны выделены тополого-экологическим методом [Кузнецов, 2005].

Определялась глубина торфяной залежи, а в наиболее глубоких частях систем и на склоновых («висячих») участках отбирались торфяные колонки на ботанический анализ для реконструкции динамики болот. По результатам анализов построены диаграммы ботанического состава торфов с использованием программы «Korpi» [Кутенков, 2013], по которым выполнена реконструкция сукцессий растительности на ряде участков «висячих» болот. На исследованных болотах выполнено 45 геоботанических описаний и исследована стратиграфия торфяных залежей в 7 скважинах.

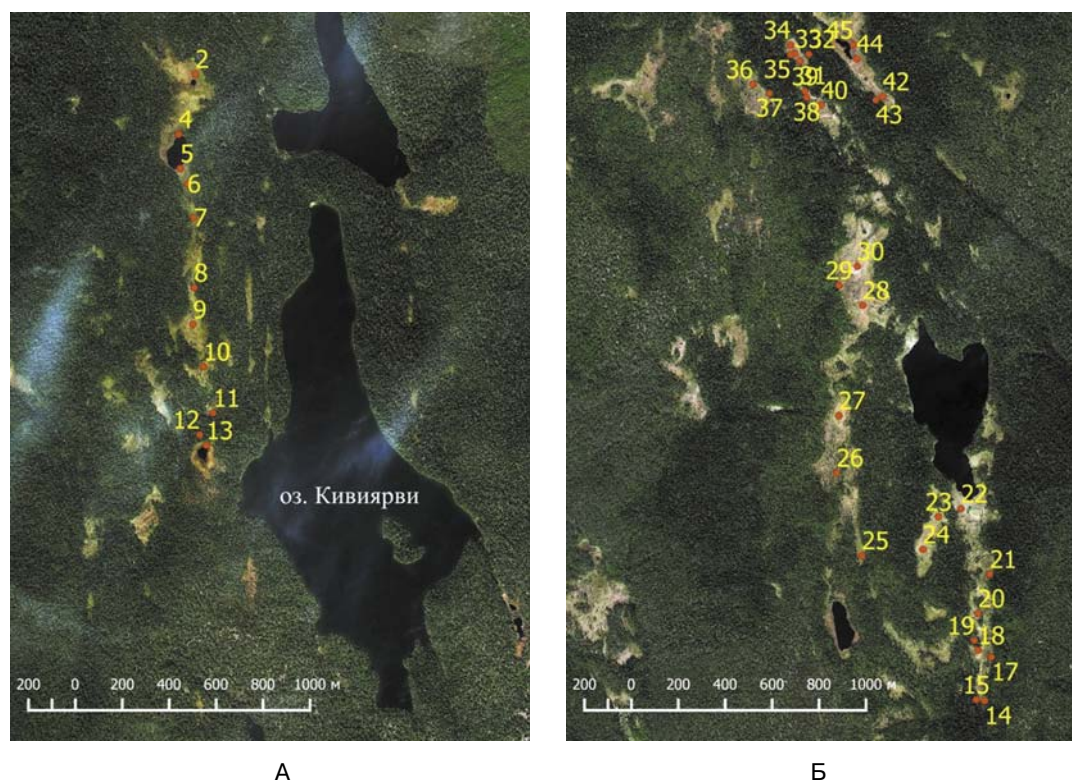


Рис. 1. Исследованные болота на горе Ахви (А): Ахвисуо (описания 2–12), Кивиярвисуо (оп. 13) и склонах г. Варгуно (Б): Варгуносуо 1 (оп. 14–22), Варгуносуо 2 (оп. 23, 24), Варгуносуо 3 (оп. 25–27), Варгуносуо 4 (оп. 28–30), Варгуносуо 5 (оп. 31–35), Варгуносуо 6 (оп. 36, 37), Варгуносуо 7 (оп. 38–41), Варгуносуо 8 (оп. 42–45)

Fig. 1. Studied mires on Mount Akhvi (A): Akhvisuo (relevés 2–12), Kivijärvisuo (13) and the slopes of Mount Varguno (Б): Vargunosuo 1 (14–22), Vargunosuo 2 (23, 24), Vargunosuo 3 (25–27), Vargunosuo 4 (28–30), Vargunosuo 5 (31–35), Vargunosuo 6 (36, 37), Vargunosuo 7 (38–41), Vargunosuo 8 (42–45)

## Результаты

Все изученные болота имеют очень маленькие площади, среди них представлены как отдельные болотные массивы площадью от 1 до 3 га (Кивиярвисуо, Варгуносуо 2, 3, 6), так и болотные системы (Ахвисуо, Варгуносуо 1, 4, 5, 7, 8), включающие по несколько маленьких массивов и первичных остаточных озер (ламб) (рис. 1). Эти болотные системы, приуроченные к тектоническим логовидным депрессиям, представляют собой цепочки маленьких болот, расположенных на разных гипсометрических уровнях и соединенных между собой мелкозалежными перемычками. Участки с выходами грунтовых вод приурочены в этих системах к подножиям склонов с перепадами высот 4–6 метров на 40–70 метров вдоль склонов.

### Растительность

В структуре всех исследованных болот преобладают омбротрофные (верховые) участки в основном простого строения, без выраженного микрорельефа, с атмосферным питанием и очень бедной флорой, характерной для верховых болот северотаежной Карелии. Растительный покров верховых участков представлен группой кустарничково-морозово-сфагновых, пушицево-сфагновых, шейхцериево-сфагновых и древесно-кустарничково-сфагновых сообществ.

Следует отметить специфику мезоолиготрофных древесно-кустарничково-сфагновых сообществ, приуроченных к «висячим» участкам, в которых древесный ярус образован елью финской (*Picea × fennica*<sup>1</sup>) высотой от 2 до 6 метров с низкой сомкнутостью (0,1–0,2). Такие сообщества выделены нами в отдельную ассоциацию *Picea × fennica–Paludifruticuli–Sphagnum fuscum+S. angustifolium* (табл., I). Они встречаются в более северных районах Восточной Фенноскандии, а здесь находятся в отрыве от основного ареала. Незначительное влияние грунтовых вод подтверждается наличием в этих сообществах некоторых минеротрофных видов: *Juniperus communis* высотой до одного метра, *Molinia caerulea* (покрытие 1–5 %), единичными особями ряда других видов (*Solidago virgaurea*, *Chamae periclymenum suecicum*, *Equisetum sylvaticum*). Моховой ярус полностью сложен олиготрофными видами (табл., оп. 1–6).

Выходы родниковых вод хорошо маркируются узким (1–3 м) бордюром кустов *Salix phylicifolia* и *S. aurita*, среди которых растут *Carex rostrata*, *C. magellanica*, *Calamagrostis phragmitoides*, *Equisetum sylvaticum*, *Epilobium palustre*, *E. hornemannii* (только в одном роднике).

<sup>1</sup> Номенклатура сосудистых растений по: Черепанов, 1995; мхов: Ignatov et al., 2006, *Sphagnum divinum*: Hassel et al., 2018.

Состав елово-кустарничково-сфагновых (I), осоково-сфагнового (II) и кустарничково-пушицево-сфагновых (III) сообществ (проективное покрытие, %)

Composition of spruce-dwarf shrub-Sphagnum (I), sedge-Sphagnum (II) and dwarf shrub-Sphagnum (III) communities (density, %)

Группы описаний Relevés groups	I							C	II		III							C
	1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14	15		
Номер описания порядковый No. of relevés	14	17	21	37	16	35		38	2	9	20	23	31	33	34	36		
Номер описания авторский No. of relevés in field	27	33	30	33	29	28		28	23	19	18	21	26	20	24	20		
Число видов / Species number	1,8	1,0	2,6	0,5	2,0	1,0		3,2	2,8	4,3	2,1	2,2	2,2	2,4	3,0	2,0		
Мощность торфа, м Peat depth, m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сомкнутость древостоя Tree layer density	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Picea × fennica</i>	5	10	10	15	10	5	V	3	+	+	+	7	5	1	+	1	V	
Высота, м / Height, m	4–6	6–8	4–8	4–8	3–5	1–3		1–3	1	2	2–3	1–2	1–3	1–2		1–2		
<i>Pinus sylvestris</i>		+			+		II		+	2	+	+	+	+		2	V	
Высота, м / Height, m		6–10			2–3				1–2	3	2							
<i>Betula pubescens</i>	5	+	+	5	+	+	V	+			+	+	3		+	+	IV	
Высота, м / Height, m	3–4	4–5	2–4	3–6	4–5	2–3		5			2		2–5		1	1		



Окончание табл.  
Table (continued)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	<i>Ledum palustre</i>				+			I			+						1	II
	<i>Vaccinium uliginosum</i>	2	7	5	5	7	2	V	1	2	3	5	2	2	1	2	2	V
2	<i>Calluna vulgaris</i>	10	7	10	+	10	1	V						10	15	2	+	III
	<i>Empetrum hermaphroditum</i>	5	15	1		10	+	V	1	15	10		+	3	1	+	10	V
	<i>Oxycoccus microcarpus</i>		+					I		+								I
	<i>Rubus chamaemorus</i>	20	15	3	+			IV	3	20	30	2	10	7	5	+	20	V
	<i>Drosera rotundifolia</i>	+		+	+			III		+	+		+					II
	<i>Sphagnum fuscum</i>	60	50	20		30		IV	10	60	65		30	20	35	2	5	V
	<i>Polytrichum strictum</i>	+	+	+		2	1	V	+	+	2	+	+	+				III
	<i>Pohlia nutans</i>		+					I										
	<i>Cladonia stygia</i>					+		I		1								
	<i>Chamaedaphne calyculata</i>				+			I		+	3							5
3	<i>Andromeda polifolia</i>	2	1	+	3	2	1	V	5	5	10	+	3	5	2	5	3	V
	<i>Betula nana</i>	3	2	3	3	2	2	V	2	1	+	7		3	1	2	3	V
	<i>Oxycoccus palustris</i>	+	+	+	+	+	+	V	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V
	<i>Eriophorum vaginatum</i>	10	10	7	3	10	3	V	1	10	3	15	10	15	15	15	15	V
	<i>Carex pauciflora</i>	2	1	3	+	1	+	V		+	+	2	+	+	2	1	2	V
	<i>Sphagnum angustifolium</i>	20	30	60	40	50	55	V	80	10	20	85	55	60	55	65	65	V
	<i>S. divinum</i>	10			5	5		III	2	10	10	3	5	10	5	10	20	V
	<i>S. rubellum</i>									+								I
	<i>Scheuchzeria palustris</i>									+								I
5	<i>Trichophorum cespitosum</i>		3			3		II	+							+		I
	<i>Sphagnum papillosum</i>															5		I
6	<i>Molinia caerulea</i>	5	1	1	5	+	3	V	5					+		+		II
	<i>Aulacomnium palustre</i>	+			+	+	+	IV		+		+	+	+	1	2	1	V
8	<i>Carex lasiocarpa</i>		+	+	+		+	IV	10								+	I
	<i>C. rostrata</i>				+			I	5								+	I
	<i>Menyanthes trifoliata</i>								+									
12	<i>Juniperus communis</i>	5-7	3	3	+	1	+	V	1					1	+			II
	<i>Sorbus aucuparia</i>		+		+			II										
	<i>Salix aurita</i>						2	I	1									
	<i>Carex globularis</i>	+	2-3	+	+			IV	+					+		+		II
	<i>Calamagrostis purpurea</i>								+									
	<i>Equisetum sylvaticum</i>	+	+					II	+									
	<i>Sphagnum russowii</i>	+	+	3	40	+	30	V	+	10	+	5	+	2		5	5	V
	<i>Polytrichum commune</i>				+		+	II						+				I
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	+	+	+	+	+	+	V					+	+				II
	<i>V. vitis-idaea</i>	+	+	1	+	+	+	V				+		+				II
14	<i>Avenella flexuosa</i>			+	+	+	+	IV										
	<i>Dactylorhiza maculata</i>			+	+	+	+	IV	+					+	+	+		III
	<i>Melampyrum pratense</i>	+	+	+		+		IV				1	+		+	+		III
	<i>Solidago virgaurea</i>		+	+			+	III										
	<i>Trientalis europaea</i>			+	+		+	III	+									
	<i>Hieracium umbellatum</i>			+				I										
	<i>Chamaepericlymenum suecicum</i>	1	1	+	+		+	V	1									
	<i>Pleurozium schreberi</i>	+	5	5	+	5	+	V		2	1	5	1		+	+	+	V

Примечание / Note. С – константность / constancy: I – 1–20 %, II – 21–40 %, III – 41–60 %, IV – 61–80 %, V – 81–100 %. ЭЦГ – эколого-ценотические группы видов [по: Кузнецов, 2005] / ECG – ecological coenotic groups of species [after: Kuznetsov, 2005].

В моховом покрове в родниках и вдоль вытекающих из них ручейков встречаются *Bryum weigellii*, *B. pseudotriquetrum*, *Pseudobryum cinctoides*, *Rhizomnium pseudopunctatum*, *Warnstorfia exannulata*, *Philonotis seriata*, *Sphagnum warnstotfii*, *Scapania* sp. Такой состав растений свидетельствует о бедности родниковых вод, среди них нет типично эвтрофных и кальцефильных видов.

В составе кустарничково-пушицево-сфагновых сообществ (ассоциация *Paludifruticuli-Eriophorum vaginatum-Sphagnum angustifolium*) (табл., III) также постоянно встречаются низкие ели высотой 1–3 метра и довольно редко *Chamaedaphne calyculata*, что отличает их от подобных сообществ в равнинных районах Карелии.

Вокруг сохранившихся ламб, а также на плоских участках со слабой проточностью, иногда на местах заросших ручьев, представлены небольшие полосы мезолиготрофных осоково-сфагновых (*Carex rostrata-Sphagnum balticum*, *Carex rostrata-Sphagnum angustifolium*) и олиготрофных шейхцериево-сфагновых (*Scheuchzeria palustris-Sphagnum balticum*, *Scheuchzeria palustris-Sphagnum majus*) сообществ. В шейхцериево-сфагновых мочажинах со *Sphagnum balticum* дважды встречен *Sphagnum tenellum* и по одному разу *S. rubellum* и *S. cuspidatum*, довольно редкие в Карелии. Торфяная залежь на таких участках достигает глубины 3–5 метров.

В составе исследованных болотных систем имеются также небольшие участки лесных болот (корб), приуроченные к ложбинам стока вдоль заросших ручьев. Они представлены мезолиготрофными ельниками морошково-сфагновыми, широко распространенными в северной Карелии [Кучеров, Кутенков, 2019].

#### Стратиграфия и динамика болот

**Болотная система Ахвисуо** (рис. 1, А) расположена в ложбине на вершине г. Ахви и вытянута на 1500 м в направлении с севера на юг, ее ширина от 50 до 150 м, площадь около 10 га. В составе системы несколько маленьких омбротрофных кустарничково-пушицево-сфагновых и двух шейхцериево-сфагновых болотных массивов, на последних имеются остаточные зарастающие ламбы. Массивы расположены ступенями, общий уклон на системе с севера на юг более 10 метров, глубина торфяной залежи варьирует от 1,5 до 4,3 метра.

Динамика растительности в северной части болота реконструирована по данным ботанического состава торфа в скважине 1 (рис. 2), которая пробурена в 5 метрах от берега маленькой ламбы. В начале развития этой части болота в

мелководном водоеме сформировалось мезотрофное (М) хвощово-гипновое сообщество с участием кубышки (*Nuphar*) (стадия I), в которое позднее внедрились вахта (*Menyanthes trifoliata*) и осоки (II), на его месте затем образовалась мезоолиготрофная осоково-шейхцериевая сплавина (III). К концу третьей стадии уже отложилось 1,3 м переходного торфа, произошло разрастание болота в стороны, прекратился подток грунтовых вод с окружающих берегов, и оно перешло на питание атмосферными осадками, т. е. в верховую (омбротрофную) фазу развития. Пушицево-шейхцериево-сфагновое ковровое палеосообщество (IV) отложило 75 см торфа, оно сменилось топяным сильно обводненным шейхцериево-сфагновым (V, VI), которое и в настоящее время окружает ламбу, остаток от более обширного водоема, существовавшего на месте этой части болотной системы (см. стадии I, II).

Стратиграфия торфяной залежи в скважине 2 глубиной 4,35 м, пробуренной в южной части Ахвисуо, свидетельствует о начале заболачивания этого участка с зарастания мелководного водоема хвощовым сообществом с участием *Typha* sp. и *Carex rostrata*, которое быстро сменилось мезотрофным хвощово-осоковым сообществом. Затем был ряд сукцессий мезотрофных топяных травяно-моховых сообществ с разным участием сфагновых и гипновых мхов. В течение длительной мезотрофной фазы развития в этой части болота отложилось 2,85 метра переходных торфов. Верхние полтора метра залежи отложились в условиях атмосферного питания и образованы пушицевым, пушицево-сфагновым и сфагновым верховыми торфами. Современный растительный покров участка представлен кочковато-равнинным комплексом с кустарничково-сфагновыми (*Sphagnum fuscum*) кочками (табл., оп. 9) и пушицево-сфагновыми (*Sphagnum angustifolium*) коврами.

**Болотная система Варгуносуо 1** (рис. 1, Б) находится в узкой депрессии на северном склоне г. Варгуну, вытянутой с юга на север и выходящей на южный конец озера Варгуну (344 м н. у. м.). Длина системы около 1 км, ширина от 50 до 150 м, площадь около 10 га, глубина торфяной залежи от 1 до 3,2 метра. По восточному краю системы развиты маленькие участки «висячих» болот с большими уклонами поверхности (0,07–0,09), перепад на которых составляет 4–6 метров при их протяженности по склону 60–70 м. Они заняты мезоолиготрофными елово-кустарничково-сфагновыми сообществами, древостой редкий (0,1), высотой 4–8 метров, с примесью березы и сосны (табл., оп. 1, 2). Глубина торфяной залежи на этих

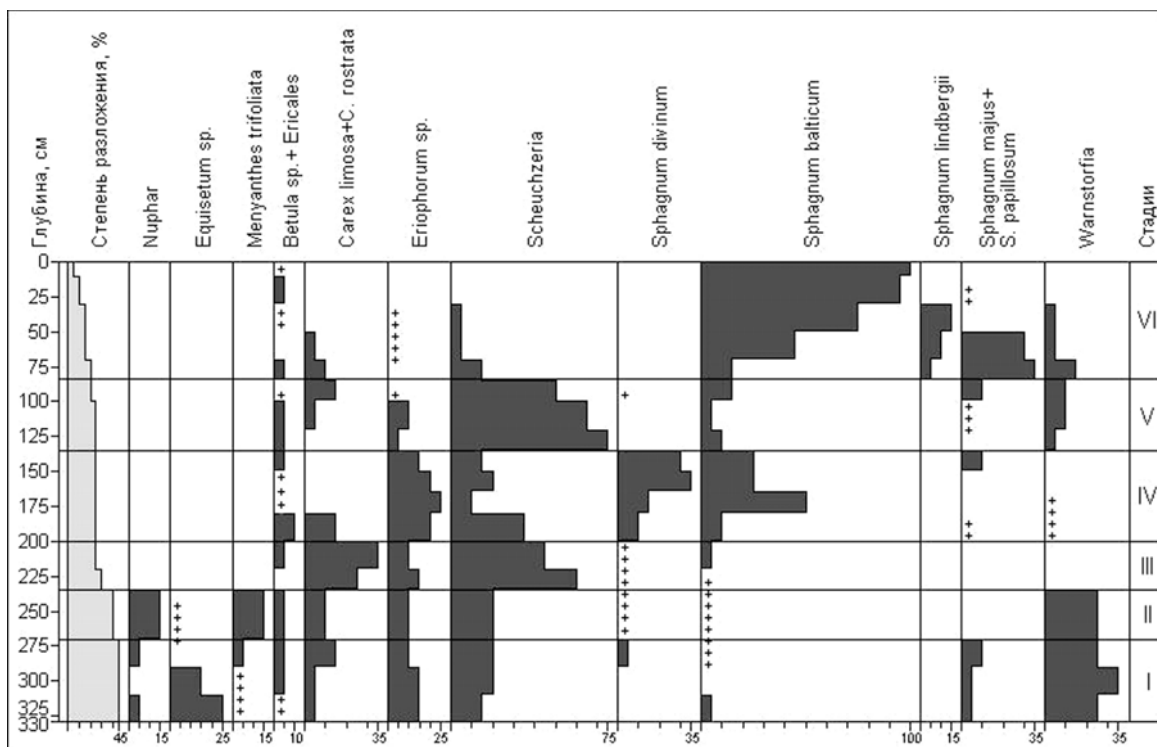


Рис. 2. Диаграмма ботанического состава торфа на болоте Ахвисуо (скв. 1)

Fig. 2. Botanical composition of peat of the Akhvisuo mire (core 1)

Палеосообщества (стадии) / Palaeocommunities (stages): I – M Equisetum+Scheuchzeria palustris – Warnstorfia sp.; II – M Nuphar+Menyanthes trifoliata+Scheuchzeria palustris – Warnstorfia sp.; III – M Carex rostrata+Scheuchzeria palustris; IV – Omb. Eriophorum sp.+Scheuchzeria palustris – Sphagnum divinum + S. balticum; V – Omb. Scheuchzeria palustris+Carex limosa; VI – Omb. Scheuchzeria palustris – Sphagnum (balticum+majus+papillosum)

участках 1,0–2,6 метра. Динамика растительности одного из них представлена на рис. 3. Заболачивание участка началось с мезотрофного хвощово-осокового сообщества (I), быстро сменившегося М древесно-осоково-пушицевым (II). Следующая осоково-пушицево-сфагновая стадия (III) была довольно кратковременной и отложила всего 25 см торфа. В это время произошло резкое изреживание древесного яруса и формирование сплошного сфагнового покрова, из травяного яруса выпал хвощ. Верхний метр торфа отложен олиготрофными пушицево-сфагновыми сообществами (IV, V), в составе торфа в этом слое нет остатков минеротрофных видов трав и мхов, так как их участие в отлагавших торф сообществах было незначительным, при этом в слое 30–100 сантиметров есть остатки ели (до 5 %). В современном растительном покрове участка рассеянно встречаются *Molinia caerulea* (5 %), *Juniperus communis* (5–7 %) (оп. 1, табл.), но их остатки отсутствуют в торфе в пункте бурения.

Северная приозерная часть Варгуносуо 1 занята мезотрофным осоково-сфагновым сообществом (*Carex rostrata*–*Sphagnum an-*

*gustifolium*). Глубина болота на берегу озера 5,1 метра, скважина на ботанический анализ отобрана в 30 метрах от берега. Динамика растительности этого участка представлена на рис. 4. Он имеет озерный генезис, нижний слой торфа мощностью 1,3 метра кубышково-гипновый переходный, отложившийся в застойном мелководном водоеме (стадия I). После зарастания водоема на его месте сформировалось осоково-шейхцеригово-вахново-гипновое сообщество (II), с небольшим участием *Sphagnum fallax*, отложившее слой травяно-гипнового торфа. Оно быстро сменилось гидрофильным осоково-шейхцеригово-сфагновым сообществом с участием пушицы и преобладанием в моховом покрове *Sphagnum balticum* и *S. majus* (III). С глубины 1,5 метра торфяная залежь сложена сфагновым переходным торфом (остатки сфагновых мхов составляют 65–90 %), в динамике растительности хорошо выделяются две стадии: сначала осоково-шейхцеригово-сфагновая с высоким участием *Sphagnum divinum* (IV), затем в сообществе усилилось обводнение, возросло участие *Carex limosa* и *Sphagnum balticum* (V). В верхних слоях

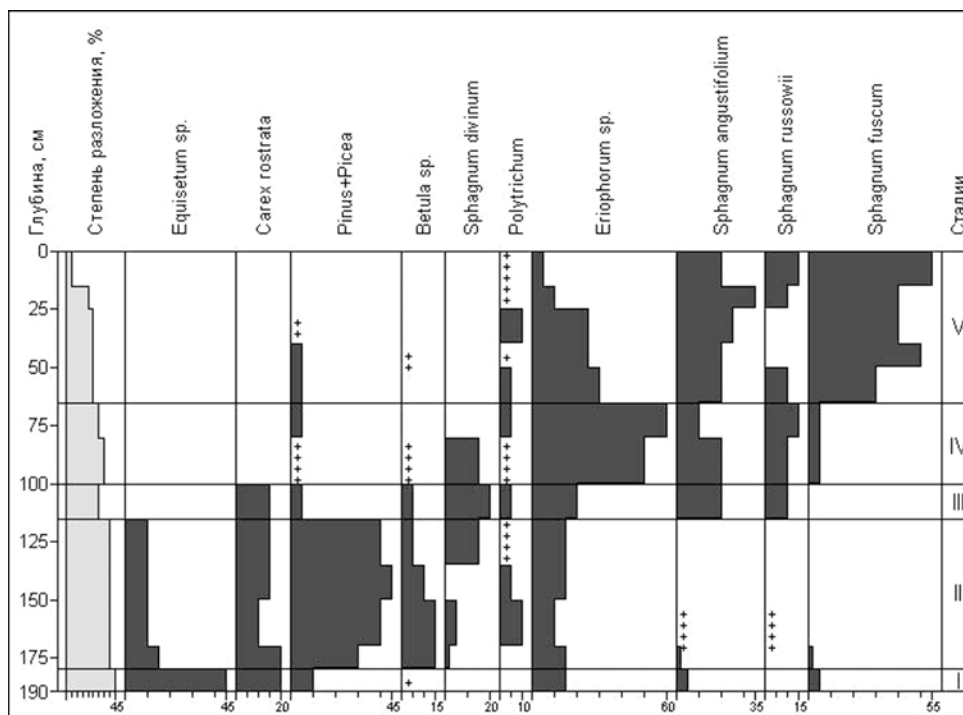


Рис. 3. Диаграмма ботанического состава торфа «висячего» участка на Варгуносуо 1 (скв. 3)

Fig. 3. Botanical composition of peat on sloping site of the Vargunosuo 1 mire (core 3)

Палеосообщества (стадии) / Palaeocommunities (stages): I – M *Equisetum* sp.+*Carex rostrata*; II – M *Pinus sylvestris*+*Picea*+*Betula* – *Carex rostrata*+*Eriophorum* sp.; III – M *Carex rostrata*+*Eriophorum* sp. – *Sphagnum divinum*+*S. angustifolium*; IV – Omb. *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum (divinum+angustifolium+russowii)*; V – Omb. *Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum fuscum*+*S. angustifolium*

торфа (0–35 см) выше содержание остатков *Sphagnum angustifolium* (VI), а в современном ковровом сообществе в месте бурения значительно обилие кустарничков, что свидетельствует об усилении его дренированности.

В тектонических депрессиях на восточном склоне сопки без названия (386,7 м) очень интересны болота Варгуносуо 7 (площадь около 1 га) и Варгуносуо 8 (площадь около 3 га) (рис. 1, Б) с «висячими» участками, имеющими более глубокие торфяные залежи.

Стратиграфия «висячего» участка на болоте Варгуносуо 7 представлена на рис. 5. Заблачивание здесь началось с мезотрофных древесно-осоково-хвощовых сообществ (I), существовавших длительное время и отложивших 1,2 метра древесно-травяных торфов. Слой залежи от 2 до 0,5 метра сложен торфами из травяных остатков (II), что свидетельствует о более сильном увлажнении участка и выпадении из растительного покрова древесных растений. Верхние полметра торфа отложены осоково-молиниевыми-сфагновыми сообществом (III), испытывающим значительное влияние грунтовых вод, что подтверждает довольно высокое участ-

тие остатков молинии в торфе, а также ее присутствие в современном покрове участка вместе с *Carex lasiocarpa* и другими мезотрофными видами (табл., оп. 7).

**Болото Варгуносуо 8** является самым глубоким среди исследованных, глубина залежи в одном пункте в южной части превышает 6 метров, около ламбы в северной части болота – 4,0–4,8 метра. Стратиграфия «висячего» участка на этом болоте представлена на рис. 6. При бурении не было достигнуто минеральное дно болота, поэтому начальная стадия заблачивания неизвестна. На глубине 5,25–6,0 м представлена топяная осоково-шейхцериево-сфагновая стадия со *Sphagnum jensenii* (I), которая затем сменилась менее обводненной осоково-сфагновой со *Sphagnum centrale* (II). С глубины 4,5 м отмечено массовое внедрение *Sphagnum papillosum*, стадия III была представлена ковровыми мезотрофными осоково-пушицево-сфагновыми сообществами. С глубины 2,6 м и до поверхности в торфяной залежи преобладают остатки видов верховых болот, мезотрофные остатки (*Carex rostrata*, *Molinia caerulea*) встречаются в небольшом количестве.

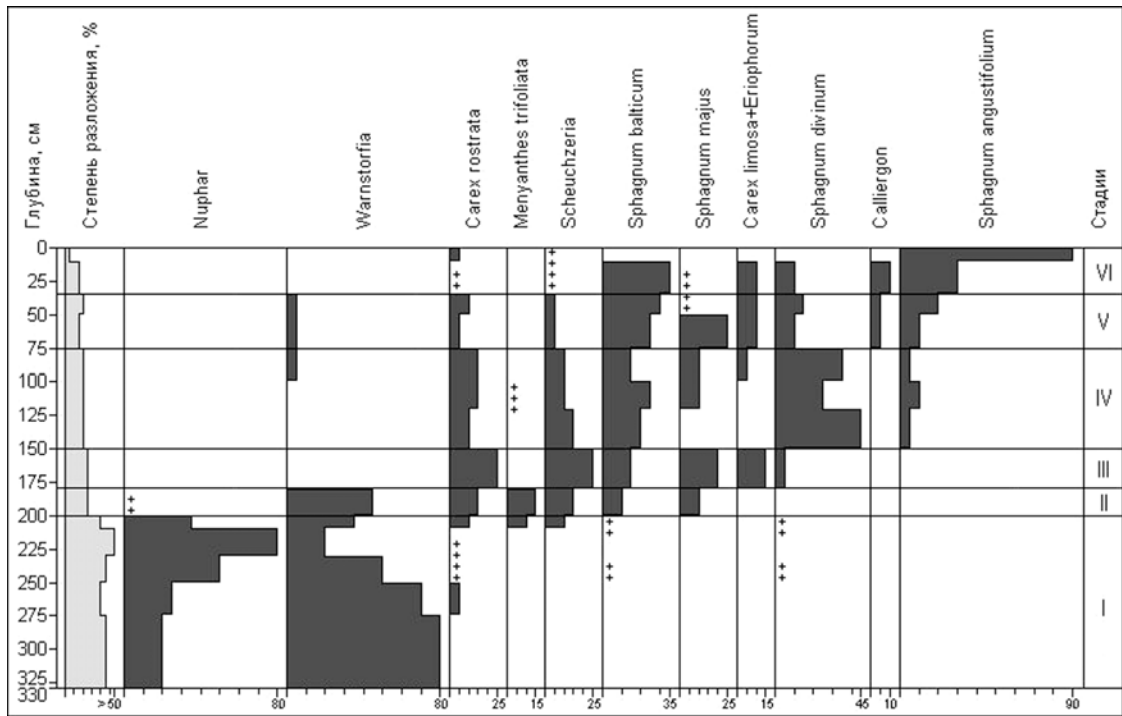


Рис. 4. Диаграмма ботанического состава торфа приозерной части болота Варгуносуо 1 (скв. 4)

Fig. 4. Botanical composition of peat of the Vargunosuo 1 mire (core 4)

Палеосообщества (стадии) / Palaeocommunities (stages): I – *Nuphar* – *Warnstorfia* sp.; II – *Carex rostrata*+*Scheuchzeria palustris*+*Menyanthes trifoliata* – *Warnstorfia* sp.; III – *Carex rostrata*+*Scheuchzeria palustris*+*Eriophorum* sp. – *Sphagnum balticum*+*S. majus*; IV – *Carex rostrata*+*Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum divinum*+*S. balticum*; V – *Carex rostrata*+*C. limosa* – *Sphagnum balticum*+*S. majus*; VI – *Carex limosa*+*C. rostrata* – *Sphagnum angustifolium*+*S. balticum*

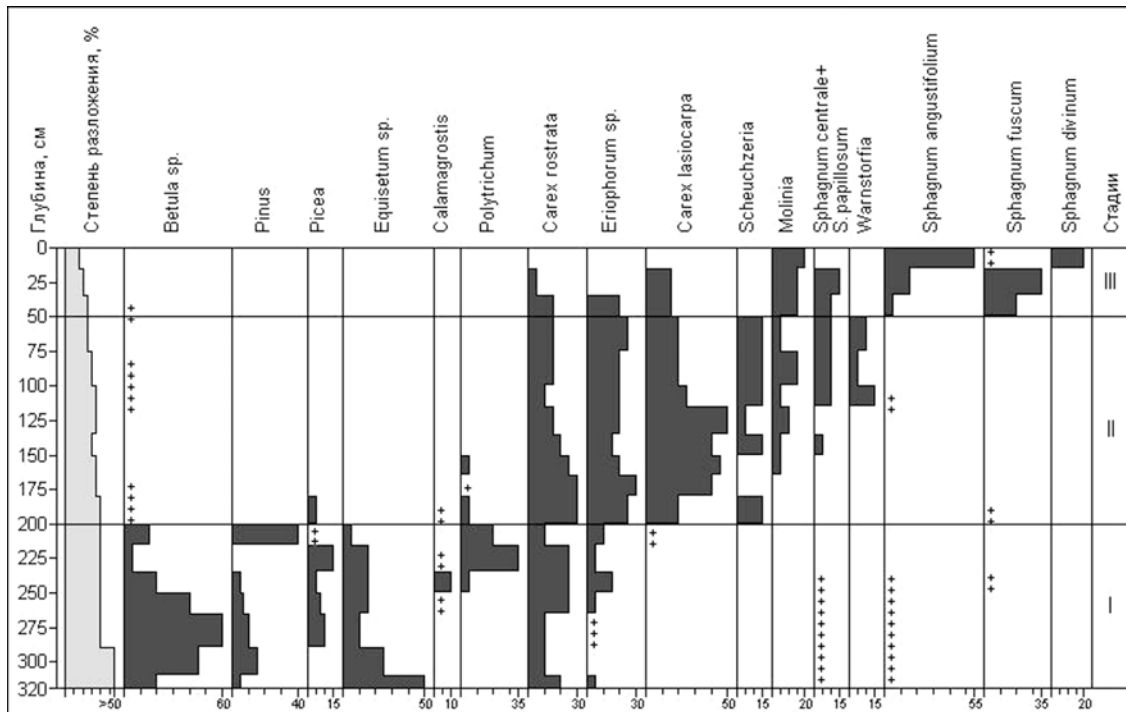


Рис. 5. Диаграмма ботанического состава торфа «висячего» участка на болоте Варгуносуо 7 (скв. 5)

Fig. 5. Botanical composition of peat on the sloping site of the Vargunosuo 7 mire (core 5)

Палеосообщества (стадии) / Palaeocommunities (stages): I – *Betula*+*Pinus sylvestris*+*Picea abies* – *Carex rostrata*+*Equisetum* sp.; II – *Carex lasiocarpa*+*C. rostrata*+*Eriophorum* sp.; III – *Carex lasiocarpa*+*Molinia caerulea* – *Sphagnum angustifolium*+*S. fuscum*

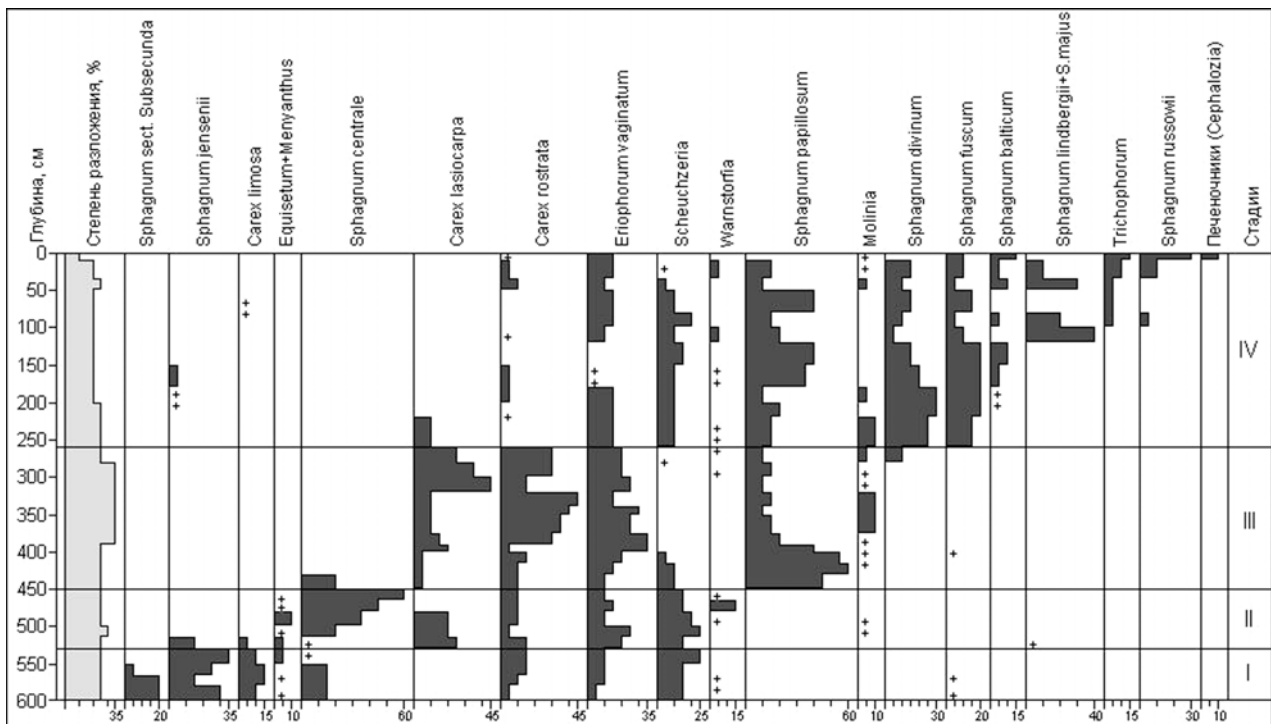


Рис. 6. Диаграмма ботанического состава торфа «висячего» участка на болоте Варгуносуо 8 (скв. 6)

Fig. 6. Botanical composition of peat on the sloping site of the Vargunosuo 8 mire (core 6)

Палеосообщества (стадии) / Palaeocommunities (stages): I – *Carex limosa*+*C. rostrata*+*Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum* (*jensenii*+*centrale*+*sect. Subsecunda*); II – *Carex lasiocarpa*+*Scheuchzeria palustris* – *Sphagnum centrale*; III – *Carex lasiocarpa*+*C. rostrata*+*Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum papillosum*; IV – *MO Eriophorum vaginatum* – *Sphagnum* (*papillosum*+*divinum*+*fuscum*)

Это свидетельствует, что торфы откладывались мезоолиготрофными пушицево-сфагновыми сообществами (IV) с незначительным влиянием бедных грунтовых вод. В современном сообществе присутствуют *Carex rostrata* и *Molinia caerulea* с невысоким обилием.

Стратиграфия исследованных «висячих» участков болот свидетельствует об их суходольном генезисе, а также средней и высокой степени разложения (30–50 % и более) и плотности торфов в средних и нижних слоях торфяной залежи. Это обусловлено хорошим дренажем склонов и активной минерализацией растительных остатков, поэтому торфонакопление на таких участках замедлено. Так, на болоте Межгорное (окрестности озера Тулос) возраст придонных слоев торфа на склоновом участке составляет в скважине глубиной 1,4 м  $4110 \pm 50$  лет по  $C^{14}$  (калиброванный – около 4500 лет), в скважине глубиной 2 м –  $7280 \pm 60$  лет по  $C^{14}$  (калиброванный – около 8000 лет) [Kuznetsov et al., 1996]. Отсюда вертикальный прирост торфа в них составляет 0,31 и 0,25 мм/год соответственно. Низкие показатели торфонакопления на «висячих» болотах

приводит и А. Хуттунен [Huttunen, 2007]. Древесные и древесно-травяные залежи в Карелии часто имеют еще более низкие показатели прироста торфов – 0,1–0,2 мм/год [Кузнецов, 2010, 2014]. Исходя из этого, можно считать, что исследованные болотные системы имеют различный возраст, их склоновые участки начали заболачиваться 4–6 тыс. лет назад, а наиболее глубокие – около 8 тыс. лет назад.

## Заключение

В целом болотные экосистемы на г. Ахви и г. Варгуну являются естественными и характеризуются значительной спецификой благодаря наличию в их составе мезоолиготрофных «висячих» участков с древесным ярусом из *Picea x fennica*. Они являются специфическими элементами мозаики структуры растительного покрова территории, а также местообитаниями типично болотной флоры северной тайги. Исследование стратиграфии торфяных залежей показало разные ряды динамики растительности этих болот в зависимости от условий залегания и водно-минерального питания.

Эта территория рекомендована к включению в региональную ООПТ «Низкогорные ландшафты Центральной Карелии», и исследованные болота могут служить объектами экологического туризма для групп, подготовленных к маршрутам по низкогорным ландшафтам.

## Литература

- Блинова И. В., Кутенков С. А., Миронов В. Л., Мамонтов Ю. С., Петровский М. Н. К характеристике и охране богатых минеротрофных болот и заболоченных лесов Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 442–445.
- Генкель А. А., Осташева Е. И. Висячие болота в окрестностях горы Яман-Тау на Южном Урале // Известия Пермского исследовательского ин-та. 1933. Т. VIII (6-8). С. 233–252.
- Громцев А. Н., Бахмет О. Н., Петров Н. В., Кравченко А. В., Кузнецов О. Л. Озерно-низкогорные комплексы Центральной Карелии: природная специфика, современное состояние, сохранение // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 7. С. 27–45. doi: 10.17076/them1438
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л. Типы болот, их использование и охрана // Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охраны. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 5–23.
- Елина Г. А., Кузнецов О. Л., Максимов А. И. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии. Л.: Наука, 1984. 128 с.
- Ивченко Т. Г., Денисенков В. П. Особенности растительного покрова и торфяной залежи болота на хребте Зигальга (Южный Урал) // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т.14, № 1(5). С. 1244–1248.
- Копеина Е. И., Королева Н. Е., Другова Т. П. Склоновые болота с сообществами союза *Sphagnum warnstorffii-Tomentypnion* Dahl 1957 на планируемой ООПТ «Городская щель» (Хибинские горы, Мурманская область) // XI Галкинские чтения: Мат-лы конф. (Санкт-Петербург, 21 апреля 2021 г.). СПб.: БИН РАН, 2021. С. 80–82.
- Кузнецов О. Л. Редкие и охраняемые растения болот Паанаярвского национального парка // Природа и экосистемы Паанаярвского национального парка. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1995. С. 34–39.
- Кузнецов О. Л. Тополого-экологическая классификация растительности болот Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2005. Вып. 8. С. 15–46.
- Кузнецов О. Л. Особенности торфонакопления и динамики некоторых типов болотных массивов Карелии // Направления исследований в современном болотоведении России / Ред. Т. К. Юрковская. СПб.-Тула: Гриф и К, 2010. С. 96–112.
- Кузнецов О. Л. Болотные экосистемы карельской части Зеленого пояса Фенноскандии // Труды Карельского научного центра РАН. 2014. № 6. С. 77–88.
- Кузнецов О. Л., Антипин В. К., Коломыцев В. А. Особенности формирования болот в расчлененных формах рельефа северо-западной Карелии // Генезис и динамика болот. Вып. 1. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 75–78.
- Кузнецов О. Л., Елина Г. А. Болота северо-западной Карелии и история их формирования // Комплексные исследования растительности болот. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1982. С. 13–29.
- Кузнецов О. Л., Шевелин П. Ф., Максимов А. И. Растительность, генезис и динамика болот западного побережья озера Пяозеро (северо-западная Карелия) // Биоразнообразие, динамика и охрана болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1998. С. 31–63.
- Кутенков С. А. Болота и заболоченные земли // Природный комплекс горы Воттоваара: особенности, современное состояние и сохранение. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 35–47.
- Кутенков С. А. Компьютерная программа для построения стратиграфических диаграмм состава торфа «Korpi» // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 6. С. 171–176.
- Кутенков С. А., Кузнецов О. Л., Боровичев Е. А., Разумовская А. В., Копеина Е. И., Королева Н. Е. Флора, растительность и особенности развития обширного склонового болота предгорий Хибин (Мурманская область) // X Галкинские чтения: Мат-лы конф. (Санкт-Петербург, 4–6 февраля 2019 г.). СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. С. 111–113.
- Кучеров И. Б., Кутенков С. А. Мезотрофные кустарничковые сфагновые и сфагново-зеленомошные ельники Европейской России и Урала // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 6. С. 859–887. doi: 10.1134/S0006813619060115
- Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
- Auer V. Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajarven vaara-alueilta // Comm. Inst. Quaest. Forest. Finn. 1922. Т. 6(1). 368 с.
- Havas P. Vegetation und Ökologie der ostfinnischen Hangmoore // Ann. Bot. Soc. «Vanamo». 1961. Т. 31(2). 188 с.
- Hassel K., Kyrkjeeide M. O., Yousefi N., Prestø T., Stenøien H. K., Shaw J. A., Flatberg K. I. Sphagnum divinum (sp. nov.) and S. medium Limpr. and their relationship to S. magellanicum Brid. // Journal of Bryology. 2018. Vol. 40(3). P. 197–222. doi: 10.1080/03736687.2018.1474424
- Huttunen A. Holocene vegetation history of the Riisitunturi fell area in NE Finland, traced by the palynostratigraphy of two dysgenic upland lakes // Boreal Environment Researches. 2007. Vol. 12. P. 515–534.
- Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A., Abolina A. A., Akatova T. V., Baisheva E. Z., Bardunov L. V., Baryakina E. A., Belkina O. A., Bezgodov A. G., Boychuk M. A., Cherdantseva V. Ya., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dyachenko A. P., Fedosov V. E., Gold-

berg I. L., Ivanova E. I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S. G., Kharzinov Z. Kh., Kurbatova L. E., Maksimov A. I., Mamatkulov U. K., Manakyan V. A., Maslovsky O. M., Napreenko M. G., Otnyukova T. N., Partyka L. Ya., Pisarenko O. Yu., Popova N. N., Rykovsky G. F., Tubanova D. Ya., Zheleznova G. V., Zolotov V. I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. 2006. Vol. 15. P. 1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Kuznetsov O., Shevelin P., Maksimov A., Grabovik S., Tokarev P., Antipin V. Mire ecosystems of western Karelia along the Russian-Finnish border // *Oulanka Reports*. 1996. No. 16. P. 139–143.

Ruuhijärvi R. Über die Regionale Einteilung der nordfinnischen Moore // *Ann. Bot. Soc. "Vanamo"*. 1960. T. 31(1). 360 s.

## References

Auer V. Suotutkimuksia Kuusamon ja Kuolajarven vaara-alueilta. *Comm. Inst. Quaest. Forest. Fenn.* 1922;6(1):368.

Blinova I. V., Kutenkov S. A., Mironov V. L., Mamonov Yu. S., Petrovskii M. N. On the description and protection of rich minerotrophic mires and paludified forests of the Murmansk Region. *Trudy Fersmanovskoi nauch. sessii GI KNTs RAN = Proceed. Fersmanov's sci. session GI KSC PAS*. 2017;14:442–445. (In Russ.)

Cherepanov S. K. Vascular plants of Russia and adjacent states (within the former USSR). St. Petersburg; 1995. 992 p. (In Russ.)

Elina G. A., Kuznetsov O. L. Mire types, their using and conservation. *Biological resources of the Kostomuksha Region, ways of using and conservation*. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1977. P. 5–23. (In Russ.)

Elina G. A., Kuznetsov O. L., Maksimov A. I. Structural and functional organisation and dynamics of mire ecosystems in Karelia. Leningrad: Nauka; 1984. 128 p. (In Russ.)

Genkel A. A., Ostasheva E. I. Sloping fens of neighbourhood mountain Jaman-Tau on South Ural. *Isvestija Perm Reseach Institute*. 1933;VIII(6-8):233–252. (In Russ.)

Gromtsev A. N., Bakhmet O. N., Petrov N. V., Kravchenko A. V., Kuznetsov O. L. Central Karelian lacustrine-low mountain complexes: Specific, natural characteristics, status, conservation. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2021;7:27–45. doi: 10.17076/them1438 (In Russ.)

Hassel K., Kyrkjeeide M. O., Yousefi N., Prestø T., Stenøien H. K., Shaw J. A., Flatberg K. I. Sphagnum divinum (sp. nov.) and S. medium Limpr. and their relationship to S. magellanicum Brid. *Journal of Bryology*. 2018;40(3):197–222. doi: 10.1080/03736687.2018.1474424

Havas P. Vegetation und Ökologie der ostfinnischen Hangmoore. *Ann. Bot. Soc. «Vanamo»*. 1961; 31(2):188.

Huttunen A. Holocene vegetation history of the Riisitunturi fell area in NE Finland, traced by the

palynostratigraphy of two dysgenic upland lakes. *Boreal Environment Researches*. 2007; 12:515–534.

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A., Abolina A. A., Akatova T. V., Baisheva E. Z., Bardunov L. V., Baryakina E. A., Belkina O. A., Bezgodov A. G., Boychuk M. A., Cherdantseva V. Ya., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dyachenko A. P., Fedosov V. E., Goldberg I. L., Ivanova E. I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S. G., Kharzinov Z. Kh., Kurbatova L. E., Maksimov A. I., Mamatkulov U. K., Manakyan V. A., Maslovsky O. M., Napreenko M. G., Otnyukova T. N., Partyka L. Ya., Pisarenko O. Yu., Popova N. N., Rykovsky G. F., Tubanova D. Ya., Zheleznova G. V., Zolotov V. I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 2006;15:1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Ivchenko T. G., Denisenkov V. P. Peculiarity of vegetation and peat deposit of mire on mountain Zigalga (South Ural). *Izvestija Samara Research Centre RAS*. 2012;14(1): 1244–1248. (In Russ.)

Kopeina E. I., Koroleva N. E., Drugova T. P. Sloping fen with communities of alliance Sphagnurnarstorfi–Tomentyption nitentis Dahl 1957 on the planned SPA 'Gorodskaya shchel' (Khibiny Mountains, Murmansk Region). *Proceedings of XI meeting in memoriam of Ekaterina Alekseevna Galkina (St. Petersburg, April 21, 2021)*. St. Petersburg: Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences; 2021. P. 80–82. (In Russ.)

Kucherov I. B., Kutenkov S. A. Mesotrophic dwarf shrub peatmoss and peatmoss-feathermoss spruce forests of European Russia and the Urals. *Bot. Journal*. 2019;104(6):859–887. (In Russ.)

Kutenkov S. A. Korpi software for plotting stratigraphic diagrams of peat composition. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2013;8:171–176. (In Russ.)

Kutenkov S. A. Mires and paludified forests. *Nature of Mount Vottovaara: Characteristics, condition, conservation*. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. P. 35–47. (In Russ.)

Kutenkov S. A., Kuznetsov O. L., Borovichev E. A., Razumovskaya A. V., Kopeina E. I., Koroleva N. E. Flora, vegetation and peculiarities of development of the sloping fen of the Khibiny foothills (Murmansk Region). *Proceedings of X meeting in memoriam of Ekaterina Alekseevna Galkina*. St. Petersburg; 2019. P. 111–113. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Rare and protected mire plants of the Paanajarvi National Park. Nature and ecosystems of the Paanajarvi National Park. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1995. P. 34–39. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Topological-ecological classification of mire vegetation of Karelia (ombrotrophic and oligotrophic communities). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2005(8):15–46. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Peat increment patterns and dynamics of some mire massif types in Karelia. Research problems and goals in modern mire science in Russia. St. Petersburg, 2010: 96–112. (In Russ.)



Kuznetsov O. L. Mire ecosystems in the Karelian part of the Green Belt of Fennoscandia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2014;6:77–88. (In Russ.)

Kuznetsov O. L., Antipin V. K., Kolomytsev V. A. Specific of formation mires in separate relief in north-western Karelia. *Genesis and Dynamics of Mires*. Iss. 1. Moscow; 1978. P. 75–78. (In Russ.)

Kuznetsov O. L., Elina G. A. Mires of north-western Karelia and history of their formations. *Complex research of mires vegetation*. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1982. P. 13–29. (In Russ.)

Kuznetsov O., Shevelin P., Maksimov A., Grabovik S., Tokarev P., Antipin V. Mire ecosystems of western Karelia along the Russian-Finnish border. *Oulanka Reports*. 1996;16:139–143.

Kuznetsov O. L., Shevelin P. F., Maksimov A. I. Vegetation, genesis and dynamics of mires of west shore of Lake Pyaozero (north-western Karelia). *Biodiversity, dynamics and conservation of mire ecosystems of Eastern Fennoscandia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1998. P. 31–63. (In Russ.)

Ruuhijärvi R. Über die Regionale Einteilung der nordfinnischen Moore. *Annales Bot. Soc. "Vanamo"*. 1960;31(1):360.

Поступила в редакцию / received: 23.11.2022; принята к публикации / accepted: 01.12.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

#### Кузнецов Олег Леонидович

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории экологического мониторинга и моделирования ОКНИ, главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем ИБ КарНЦ РАН

*e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru*

#### Кутенков Станислав Анатольевич

канд. биол. наук, заведующий лабораторией болотных экосистем

*e-mail: effort@krc.karelia.ru*

#### Канцерова Любовь Викторовна

канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: Kancerova.L@mail.ru*

#### Бойчук Маргарита Арсеньевна

канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

*e-mail: boychuk@krc.karelia.ru*

### CONTRIBUTORS:

#### Kuznetsov, Oleg

Dr. Sci (Biol.), Chief Researcher at the Laboratory of Ecological Monitoring and Modeling Chief Researcher at the Mire Ecosystems Laboratory

#### Kutenkov, Stanislav

Cand. Sci. (Biol.), Head of Mire Ecosystems Laboratory

#### Kantserova, Lyubov

Cand. Sci. (Biol.), Researcher

#### Boychuk, Margarita

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher

УДК 58.02 /57.042

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ШКАЛ ЭЛЛЕНБЕРГА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ МАЛЫХ БОЛОТ КАРЕЛИИ

П. А. Игнашов\*, О. Л. Кузнецов

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*paul.ignashov@gmail.com*

Выполнен экологический анализ флоры сосудистых растений и 20 ассоциаций 63 малых болот в подзоне средней тайги Карелии с использованием экологических шкал Элленберга по четырем экологическим факторам (освещенность, степень увлажнения, реакция субстрата, обеспеченность субстрата азотом). Во флоре сосудистых растений преобладают в основном гелиофиты (57 %), гигрофиты (84 %), ацидофилы (58 %) и олиготрофы (72 %). Ординация синтаксонов показала, что ведущими факторами распределения сообществ в пространстве градиентов факторов среды являются кислотность и богатство субстрата азотом.

Ключевые слова: растительный покров; биоиндикация; экологический градиент

Для цитирования: Игнашов П. А., Кузнецов О. Л. Применение экологических шкал Элленберга при изучении флоры и растительности малых болот Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 114–122. doi: 10.17076/eco1726

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

## P. A. Ignashov\*, O. L. Kuznetsov. USING ELLENBERG'S INDICATOR VALUES IN THE ANALYSIS OF THE FLORA AND VEGETATION OF SMALL MIRES IN KARELIA

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*paul.ignashov@gmail.com*

Ecological analysis of the vascular plant flora and 20 associations on 63 small mid-boreal mires of Karelia was performed using Ellenberg's indicator values for four ecological factors (light, moisture, substrate reaction, substrate nitrogen). The flora is mainly dominated by heliophilous (57 %), hygrophytic (84 %), acidophilous (58 %) and oligotrophic (72 %) species of vascular plants. Ordination of the syntaxa shows that the leading factors for the distribution of communities in the space of ecological gradient factors are substrate acidity and richness in nitrogen.

Keywords: vegetation; bioindication; ecological gradient

For citation: Ignashov P. A., Kuznetsov O. L. Using Ellenberg's indicator values in the analysis of the flora and vegetation of small mires in Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 114–122. doi: 10.17076/eco1726

Funding. The study was financed from the Russian federal budget through government assignment to KarRC RAS (Institute of Biology KarRC RAS).

## Введение

Болотные экосистемы характеризуются высоким разнообразием экологических условий. На разных типах болот представлены биотопы, резко различающиеся по условиям водно-минерального питания: от омбротрофных с атмосферным питанием до эвтрофных жестководных с кальцефильной флорой. Это обуславливает специфический состав флоры разных болотных биотопов, а на экологических характеристиках состава сообществ базируются классификации растительности болот и типологии болотных массивов.

Разделение болотных растений на группы по степени богатства их местообитаний известно с начала XX века – с работ К. Вебера, впервые выделившего олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные группы болотных растений и типы болот. Индикационным свойствам болотных растений, составлению экологических рядов и групп видов посвящен целый ряд работ [Трасс, 1955; Брадис, 1972; Лопатин, 1983]. Однако их результаты базируются не на массовых аналитических исследованиях свойств биотопов, а на личном опыте авторов.

Распространенным методом фитоиндикации является оценка режимов экологических факторов среды по шкалам, представляющим собой таблицы с экологическими характеристиками видов, выраженными в баллах. В настоящее время в фитоценологии широко используются различные экологические шкалы, базирующиеся на разных подходах. Л. Г. Раменский [1956] разработал метод амплитудных шкал, в которых вид оценивается в интервале экологического фактора с учетом его проективного покрытия. Подобные шкалы разработаны и Д. Г. Цыгановым [1983] для Центральной России и использованы рядом авторов для оценки местообитаний сфагновых мхов [Зверев, Бабешина, 2009; Попов, Федосов, 2017], а также растительных сообществ болот [Волкова, 2018]. На основе многочисленных количественных измерений факторов среды немецкий ботаник Х. Элленберг [Ellenberg, 1974; Ellenberg, Leuschner, 2010] разработал оптимальные (точечные) экологические шкалы для видов растений Центральной Европы. Шкалы

Элленберга широко используются в Европе. В ряде публикаций отмечается их высокая надежность и возможность дополнять или, в некоторых случаях, заменять инструментальные измерения факторов среды, при этом авторы рекомендуют их корректировать для конкретного региона исследования [Diekmann, 1995; Diekmann, Dupré, 1997; Hill et al., 2000; Lawesson, Mark, 2000; Wamelink et al., 2002; Godefroid, Dana, 2007]. Шкалы Элленберга использовались и проверялись инструментально в условиях европейской части России [Булохов, 1992; Дегтева, Новаковский, 2012], авторы отмечают их хорошую согласованность с другими шкалами и возможность применения в условиях России. Использовались они и при характеристике флоры верховых болот Беларуси, при оценке экологических условий их растительных сообществ [Зеленкевич и др., 2016].

Нами шкалы Элленберга [Ellenberg, Leuschner, 2010] применены для экологического анализа флоры сосудистых растений малых болот среднетаежной подзоны Карелии, а также экологической характеристики растительности болот путем определения синфитоиндикационных оценок выделенных на них синтаксонов по четырем факторам среды: влажность, освещенность, реакция субстрата и обеспеченность субстрата азотом.

## Материалы и методы

Исследования выполнялись в 2013–2017 годах на пяти модельных территориях (МТ), расположенных в основных ландшафтах среднетаежной Карелии: водно-ледниковом холмистогрядовом (МТ I и II), моренном равнинном (МТ III), денудационно-тектоническом грядовом (МТ IV), озерном равнинном (МТ V) (рис. 1).

Разнообразие природных условий (геологических, геоморфологических, гидрологических и биогеографических) привело к формированию в районе исследований довольно широкого спектра типов болот. Маршрутным методом изучена флора и растительность 63 малых болотных массивов. Малыми, согласно методике оценки торфяных месторождений России, считаются болота площадью менее 100 га. Площадь большей части исследованных

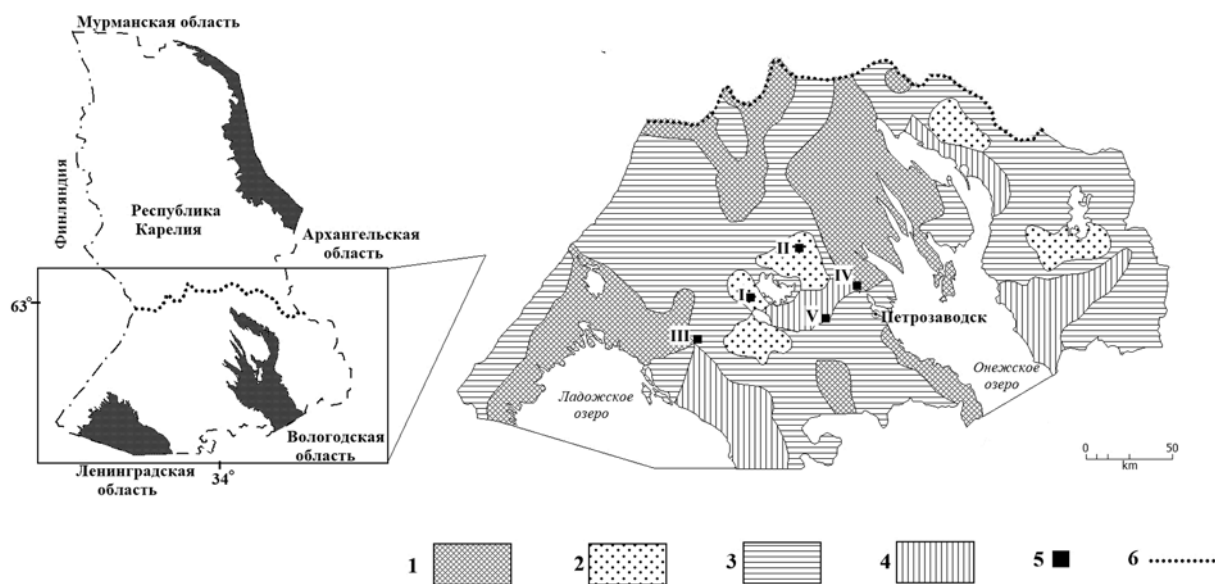


Рис. 1. Район исследований.

Рельеф [по: Lukashov, 2003]: 1 – денудационно-тектонический грядовой; 2 – аккумулятивные ледораздельные возвышенности; 3 – моренные равнины; 4 – водно-ледниковые равнины; 5 – модельные территории (I – Вешкельская возвышенность; II – Вохтозерская возвышенность; III – с. Колатсельга; IV – с. Гомсельга; V – п. Матросы); 6 – граница подзон северной и средней тайги

Fig. 1. Study area.

Terrain [after: Lukashov, 2003]: 1 – tectonic denudation; 2 – interlobate (morainic ridges) accumulative uplands; 3 – morainic plain; 4 – glaciolacustrine, lacustrine plains; 5 – model sites (I – Veshkelskaya upland; II – Vokhtozerskaya upland; III – s. Kolatsetlga; IV – s. Gomselga; V – s. Matrosy); 6 – border of the northern and middle taiga subzones

болот (39) – от 1 до 10 га, 11 массивов имеют площадь 11–20 га, 4 – 21–30 га, 4 – 31–40 га, 3 – 41–50 га, 1 болото – 52 га и 1 – 90 га, их общая площадь составляет 915 га. На каждом болоте для выявления состава флоры выполнялся его обход по границам с суходолом, а также обследование центральной части с составлением списка выявленных видов, сбором гербария для последующего определения сложных таксонов, включая мхи, и выполнением ряда геоботанических описаний. Исследование растительности проводилось по общепринятым методам [Программа..., 1974; Методы..., 2001; Миркин, Наумова, 2017].

Геоботанические описания выполнялись на временных пробных площадях (10×10 м) или в границах конкретного фитоценоза, в наиболее однородных участках. На болотных участках с комплексным строением растительного покрова описания выполнялись на каждом элементе микрорельефа. Для каждого геоботанического описания выполнена оценка условий местообитаний по шкалам Элленберга для сосудистых растений (освещенность (L), степень увлажнения (F), реакция субстрата (R), обеспеченность субстрата азотом (N)) по формуле взвешенного среднего с учетом проективного

покрытия видов [Дегтева, Новаковский, 2012]. Балльные оценки для ряда видов мхов, представленные в таблицах [Ellenberg, Leuschner, 2010], не отражают их экологию в нашем регионе, поэтому мхи в описаниях не включались в оценку условий их местообитаний. В дальнейшем требуется разработка региональных экологических шкал для мхов.

Классификация растительных сообществ выполнена с использованием принципов тополого-экологической классификации [Påhlsson, 1994; Кузнецов, 2006а, б]. На основании данных о видовом составе, проективном покрытии, положении сообществ в микрорельефе был выделен ряд синтаксонов, которые мы рассматриваем в ранге ассоциаций. Для выделенных ассоциаций синфитоиндикационные оценки определялись по шкалам Элленберга [Ellenberg, Leuschner, 2010] на основе среднего значения в геоботанических описаниях, отнесенных к ней.

С помощью метода неметрического шкалирования (NMS) [Clarke, 1993; Джонгман и др., 1999] проведена ординация наших описаний, а также ассоциаций с целью определения их связи с экологическими факторами. Операция проводилась в программе PAST [Hammer et al., 2001].

## Результаты и обсуждение

**Флора.** На исследованных болотах выявлено 229 видов сосудистых растений, что составляет 80 % флоры болот Карелии. Преимущественно «верными» болотам являются 94 вида (41 %), которые рассматриваются как флороценотическое ядро флоры (ЯФ). Полученные результаты экологического анализа свидетельствуют (табл. 1), что в составе исследованной флоры по отношению к освещенности преобладают относительно теневыносливые растения – сциогелиофиты (46 %, 105 видов). Гелиофиты составляют 33 % (75 видов), причем в ЯФ они превали-

руют (57 %, 54 вида), поскольку изученные болота являются безлесными или слабооблесенными. Это является также причиной малой доли участия сциофитов и гелиосциофитов – 14 % (33 вида) в общей флоре и всего 7 % (7 видов) в ЯФ. По отношению к увлажнению преобладают ультрагигрофиты и гигрофиты (55 %, 126 видов), они представлены видами мочажин и ковров, ключевых и аллювиальных участков. Роль этой группы еще выше в ЯФ (84 %, 78 видов). Гидрофитами являются 12 % (27 видов), в ЯФ их 6 % (6 видов). Мезофитная группа (мезофиты, гигромезофиты и мезогигрофиты) составляет 20 % (46 видов) и состоит в основном из растений, встречаю-

Таблица 1. Распределение сосудистых растений флоры малых болот Карелии по отношению к экологическим факторам (на основании экологических шкал Элленберга)

Table 1. Distribution of vascular plants of the flora of small mires in Karelia in relation to the ecological factors (based on Ellenberg's indicator values)

Экоморфа (баллы по Элленбергу) Ecomorph (Ellenberg's indicator values)	Флора в целом Common flora, %	Ядро Floristic core, %
По отношению к освещенности (Light intensity factor)		
Сциофиты / Sciophytes (1–3)	4	1
Гелиосциофиты / Heliosciophyte (4–5)	10	6
Сциогелиофиты / Scioheliophytes (6–7)	46	29
Гелиофиты / Heliophytes (8–9)	33	57
Индиферентные / Indifferent	3	0
Нет данных / No data	4	6
По отношению к увлажнению (Moisture factor)		
Мезофиты / Mesophytes (4)	3	1
Гигромезофиты / Hygromesophytes (5)	10	1
Мезогигрофиты / Mesohygrophytes (6)	7	1
Гигрофиты / Hygrophytes (7–8)	25	28
Ультрагигрофиты / Ultra-hygrophytes (9)	30	55
Гидрофиты / Hydrophytes (10)	6	4
Аэрогидатофиты / Aerohydatophytes (11)	3	0
Гидатофиты / Hydatophytes (12)	3	2
Индиферентные / Indifferent	9	1
Нет данных / No data	4	6
По отношению к реакции субстрата (Substrate reaction)		
Крайние ацидофилы / Ultra-acidophytes (1)	4	9
Ацидофилы / Acidophytes (2–3)	15	22
Умеренные ацидофилы / Relative acidophytes (4–6)	29	28
Нейтрофилы / Neutrophytes (7–8)	24	16
Индиферентные / Indifferent	23	19
Нет данных / No data	4	6
По отношению к обеспеченности субстрата азотом (Substrate nitrogen)		
Ультраолиготрофы / Ultra-oligotrophic plants (1)	6	11
Олиготрофы / Oligotrophic plants (2)	24	41
Мезоолиготрофы / Mesoligotrophic plants (3)	16	19
Олигомезотрофы / Oligomesotrophic plants (4)	12	12
Мезотрофы / Mesotrophic plants (5)	7	5
Эвмезотрофы / Eumesotrophic plants (6)	10	3
Мезоэвтрофы / Mesoeutrophic plants (7)	5	1
Эвтрофы / Eutrophic plants (8–9)	4	0
Индиферентные / Indifferent	10	1
Нет данных / No data	5	6

щихся в экотонной полосе болото-лес. Лишь небольшая часть мезофитов входит в ЯФ (3 %, 3 вида).

По отношению к степени кислотности субстрата преобладают умеренные ацидофилы – 29 % (67 видов). На ацидофилы и крайние ацидофилы приходится 19 % (44 вида). К нейтрофилам относится 24 % (55 видов), к индифферентным – 23 % (53 вида). В ЯФ выше доля ацидофилов и крайних ацидофилов – 31 % (29 видов), к умеренным ацидофилам относится 28 % (26 видов).

По отношению к богатству субстрата минеральным азотом во флоре преобладают олиготрофные растения (46 %, 106 видов), а в ЯФ их доля составляет 71 % (67 видов). К группе мезотрофов относится 19 % (40 видов), к эвтрофам – 9 % (21 вид), к индифферентным – 10 % (24 вида). В ЯФ всего 8 видов (8 %) мезотрофов и один мезоэвтроф. Это свидетельствует о преобладании на исследованных болотах биотопов, питающихся преимущественно атмосферными и слабominерализованными грунтовыми водами.

Растительность. В растительном покрове на исследованных болотах тополого-экологическим методом выделено 20 ассоциаций, для которых определены синфитоиндикационные оценки (табл. 2). Они свидетельствуют о широком спектре экологических условий на этих болотах. Значения по богатству субстрата

зотрофов относится 19 % (40 видов), к эвтрофам – 9 % (21 вид), к индифферентным – 10 % (24 вида). В ЯФ всего 8 видов (8 %) мезотрофов и один мезоэвтроф. Это свидетельствует о преобладании на исследованных болотах биотопов, питающихся преимущественно атмосферными и слабominерализованными грунтовыми водами.

Таблица 2. Синфитоиндикационные оценки выделенных ассоциаций (1–20) малых болот средней тайги Карелии (на основании экологических шкал Элленберга)

Table 2. Synphytoindication evaluation of associations (1–20) in small mires of the middle taiga of Karelia (based on Ellenberg's indicator values)

№	Синтаксон / Syntaxon	L	F	R	N
<b>ОМБРОТРОФНЫЙ ТИП / OMBROTROPHIC TYPE</b>					
ОМБРОТРОФНЫЙ КЛАСС / OMBROTROPHIC CLASS					
Группа ассоциаций древесно-сфагновая / Woody-Sphagnum group of associations					
1	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Chamaedaphne calyculata</i> – <i>Sphagnum angustifolium</i>	7,5	8,5	2,0	1,5
Группа ассоциаций кустарничково-сфагновая кочковая / Hummocks dwarf shrub-Sphagnum group of associations					
2	<i>Chamaedaphne calyculata</i> – <i>Sphagnum fuscum</i>	7,8	8,5	2,0	1,4
3	<i>Chamaedaphne calyculata</i> – <i>Sphagnum angustifolium</i>	7,7	8,7	1,8	1,4
4	<i>Andromeda polifolia</i> – <i>Sphagnum capillifolium</i>	8,2	8,6	1,9	1,3
Группа ассоциаций травяно-сфагновая ковровая / Carpets herb-Sphagnum group of associations					
5	<i>Eriophorum vaginatum</i> – <i>Sphagnum balticum</i>	8,0	8,9	2,1	1,4
Группа ассоциаций травяно-моховая мочажинная / Hollow herb-Sphagnum group of associations					
6	<i>Scheuchzeria palustris</i> – <i>Sphagnum majus</i>	8,2	8,9	2,2	1,7
7	<i>Rhynchospora alba</i> – <i>Sphagnum majus</i>	8,3	9,0	2,3	1,6
8	<i>Scheuchzeria palustris</i> – <i>Hepaticae</i>	8,2	8,9	2,5	1,8
<b>МИНЕРОТРОФНЫЙ ТИП / MINEROTROPHIC TYPE</b>					
ОЛИГОТРОФНЫЙ КЛАСС / OLIGOTROPHIC CLASS					
Группа ассоциаций травяно-сфагновая ковровая / Carpets herb-Sphagnum group of associations					
9	<i>Carex rostrata</i> – <i>Sphagnum fallax</i>	8,0	9,0	2,2	2,1
МЕЗОТРОФНЫЙ КЛАСС / MESOTROPHIC CLASS					
Группа ассоциаций древесно-травяная / Woody-herb group of associations					
10	<i>Betula pubescens</i> – <i>Menyanthes trifoliata</i> – <i>Sphagnum centrale</i>	7,6	8,7	3,2	2,6
Группа ассоциаций травяно-сфагновая / Herb-Sphagnum group of associations					
11	<i>Carex lasiocarpa</i> – <i>Menyanthes trifoliata</i> – <i>Sphagnum subsecundum</i>	8,0	9,2	3,4	2,7
12	<i>Carex rostrata</i> – <i>Sphagnum riparium</i>	7,8	8,9	3,2	2,7
Группа ассоциаций травяная топяная аллювиальная / Flooding herb group of associations					
13	<i>Carex omskiana</i> – <i>Comarum palustre</i>	8,0	9,4	4,4	4,0
14	<i>Equisetum fluviatile</i> – <i>Calla palustris</i>	7,3	9,1	5,2	4,3
<b>ЭВТРОФНЫЙ КЛАСС / EUTROPHIC CLASS</b>					
Группа ассоциаций древесно-моховая / Woody-herb group of associations					
15	<i>Pinus sylvestris</i> – <i>Sphagnum warnstorffii</i>	6,9	7,6	3,5	2,6
Группа ассоциаций травяно-сфагновая ковровая / Carpets herb-Sphagnum group of associations					
16	<i>Carex lasiocarpa</i> – <i>Sphagnum warnstorffii</i>	7,7	9,1	4,1	3,1
Группа ассоциаций травяно-гипновая / Herb-brown moss group of associations					
17	<i>Carex livida</i> – <i>Scorpidium scorpioides</i>	8,3	9,3	3,4	2,5
18	<i>Carex lasiocarpa</i> – <i>Scorpidium scorpioides</i>	8,3	9,2	3,4	2,4
Группа ассоциаций травяно-моховая ключевая / Spring herb-moss group of associations					
19	<i>Carex flava</i> – <i>Sphagnum teres</i>	8,0	8,9	5,0	3,3
20	<i>Bistorta officinalis</i> – <i>Paludella squarrosa</i>	7,5	8,6	4,4	3,8

минеральным азотом (N) и кислотности (R) ниже в омбротрофных ассоциациях, чем в минеротрофных. Оценки освещенности (L) и увлажнения (F) подтверждают обоснованность выделения групп ассоциаций по структуре сообществ, их приуроченности к элементам микрорельефа и режиму увлажнения.

При сравнении полученных значений синфитоиндикационных оценок омбротрофных сообществ с оценками для аналогичных сообществ верховых болот Беларуси [Зеленкевич и др., 2016] выявлены некоторые различия, наши оценки по отдельным параметрам несколько выше. Это объясняется различием в методе оценки – в Беларуси она проводилась с учетом мохового покрова, мы же делали только с учетом сосудистых растений. Тем не менее сохраняется четкое различие оценок разных по трофности и приуроченности к элементам микрорельефа сообществ. Так, наша омбротрофная древесно-сфаговая ассоциация *Pinus sylvestris*–*Chamaedaphne calyculata*–*Sphagnum angustifolium* имеет показатели: L – 7,5; F – 8,5; R – 2,0; N – 1,5. В Беларуси подобная ассоциация *Sphagno*–*Pinetum sylvestris* имеет

следующие средние оценки: L – 7,32; F – 7,46; R – 1,66; N – 1,33. На существенные отличия показателей по увлажнению и реакции повлиял учет *Sphagnum fuscum*<sup>1</sup> в белорусской ассоциации. Минеротрофная ассоциация *Carex rostrata*–*Sphagnum fallax* у нас характеризуется так: L – 8,0; F – 9,0; R – 2,2; N – 2,1. В Беларуси для подобной ассоциации *Caricetum rostratae* показатели следующие: L – 7,63; F – 8,27; R – 2,44; N – 2,02. Здесь на отличия по освещенности и увлажнению повлиял низкий балл этих факторов для *Sphagnum fallax*.

С помощью неметрического многомерного шкалирования (NMS) выполнена ординация синтаксонов в пространстве экологических факторов. Она позволила выявить связи между растительными сообществами, а также их отношение к основным экологическим факторам, рассчитанным с использованием шкал Элленберга [Ellenberg, Leuschner, 2010]. Ординационная диаграмма синтаксонов представлена на рис. 2.

<sup>1</sup> Номенклатура сосудистых растений по: Черепанов, 1995; мхов по: Ignatov et al., 2006.

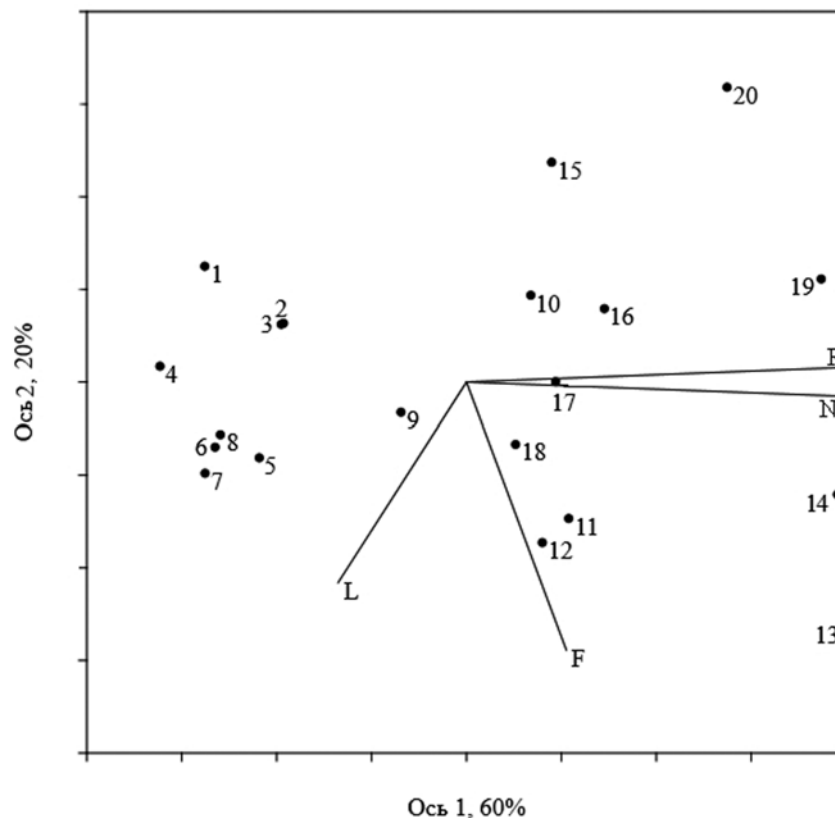


Рис. 2. NMS-ординация выделенных синтаксонов болот и векторы экологических факторов Элленберга (названия ассоциаций см. в табл. 2)

Fig. 2. NMS ordination of mire vegetation communities and vectors of Ellenberg's ecological factors (for associations titles see Table 2)

Первая ось является основным градиентом и объясняет 60 % общей дисперсии, вторая – 20 %. С первой осью коррелируют факторы богатства почв минеральным азотом (N) ( $R = 0,96$ ) и кислотности почв (R) ( $0,95$ ). Таким образом, растительные сообщества распределяются по первой оси вдоль градиента трофности от крайне бедных омбротрофных мочажин верхних болот (асс. 6–8) до эвтрофных сообществ ключевых болот (асс. 19, 20) и мезоэвтрофных сообществ прибрежных болотных участков (асс. 11, 13, 14), испытывающих аллювиальное влияние.

Со второй ординационной осью отрицательно коррелируют факторы увлажнения (F) ( $-0,77$ ) и освещенности (L) ( $-0,60$ ), таким образом, на оси 2 растительные сообщества располагаются вдоль градиента увлажнения, а также связанной с этим степенью облесения, которая непосредственно обуславливает и степень освещенности под древесным пологом. К верхней части ординационной диаграммы приурочены облесенные сообщества с сомкнутостью древостоя  $0,2-0,4$ , с переменным водным режимом и меньшей освещенностью напочвенного покрова (асс. 15). В нижней половине диаграммы расположены сообщества, не имеющие древесного яруса и характеризующиеся высоким уровнем болотных вод в течение вегетационного периода.

## Заключение

Результаты синфитоиндикационных оценок синтаксонов исследованных болот, полученные с помощью экологических шкал Элленберга, свидетельствуют о хорошей согласованности тополого-экологической классификации растительности болот с показателями экологических факторов их местообитаний. Ведущими факторами распределения сообществ болот в пространстве градиентов факторов среды являются кислотность и богатство субстрата азотом. Фактор увлажнения имеет меньшее значение, поскольку болота развиваются в условиях обильного увлажнения. Однако необходимо провести калибровку шкал Элленберга для ряда видов сосудистых растений, а в первую очередь – для мхов, обитающих на болотах в регионах Европейского Севера, с целью более точной экологической оценки флоры и растительных сообществ.

Во флоре болот Карелии представлены сосудистые растения, сильно различающиеся по отношению к каждому из экологических факторов. В ядре флоры сосудистых растений исследованных болот преобладают гигрофиты

(84 %), ацидофилы (58 %), олиготрофы (72 %) и гелиофиты (57 %). Малые болота хорошо отражают разнообразие растительного покрова болот среднетаежной Карелии и обеспечивают его сохранение. Они могут служить объектами экологического мониторинга болотных экосистем региона.

## Литература

- Брадис Е. М. Растительный покров болот как показатель их типа по условиям питания // Основные принципы изучения болотных биогеоценозов. Л.: Наука, 1972. С. 29–38.
- Булохов А. Д. Синтаксономия Южного Нечерноземья: анализ спектров жизненных форм и экобиоморф // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1992. Т. 97, вып. 5. С. 83–90.
- Волкова Е. М. Болота Среднерусской возвышенности: генезис, структурно-функциональные особенности и природоохранное значение: дис. ... докт. биол. наук. Тула, 2018. 453 с.
- Дегтева С. В., Новаковский А. Б. Эколого-ценотические группы сосудистых растений в фитоценозах ландшафтов бассейна Верхней и Средней Печоры. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 183 с.
- Джонгман Р. Г., Тер Брак С. Дж. Ф., Ван Тонгерен О. Ф. Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.
- Зверев А. А., Бабешина Л. Г. Оценка условий местообитаний сфагновых мхов Западно-Сибирской равнины по ведущим экологическим факторам: объекты, материалы и методические основы // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 325. С. 167–173.
- Зеленкевич Н. А., Груммо Д. Г., Созинов О. В., Галанина О. В. Флора и растительность верхних болот Беларуси. Минск: СтройМедиаПроект, 2016. 244 с.
- Кузнецов О. Л. Структура и динамика растительного покрова болотных экосистем Карелии: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Петрозаводск, 2006а. 53 с.
- Кузнецов О. Л. Флора и растительность болот Карелии // Болотные экосистемы севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006б. С. 145–159.
- Лопатин В. Д. Экологические ряды растительности болот // Структура растительности и ресурсы болот Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. С. 5–38.
- Методы полевых и лабораторных исследований растений и растительного покрова: Сб. ст. / Отв. ред. Е. Ф. Марковская. Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. 320 с.
- Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Введение в современную науку о растительности. М.: ГЕОС, 2017. 280 с.
- Попов С. Ю., Федосов В. Э. Ценотическое распределение и экологические предпочтения сфагновых мхов (*Sphagnaceae*) в северной тайге Европейской России (Пинежский заповедник, Архангельская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 9. С. 3–29. doi: 10.17076/есo610
- Программа и методика биогеоценологических исследований / Отв. ред. Н. В. Дылис. М.: Наука, 1974. 403 с.



Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижиков О. Н., Антипин Н. А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.

Трасс Х. Х. Флора и растительность низинных болот Западной Эстонии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1955. 24 с.

Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М.: Наука, 1983. 198 с.

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

Clarke K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure // *Australian Journal of Ecology*. 1993. Vol. 18. P. 117–143.

Diekmann M. Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests of the Boreo-nemoral zone in Sweden. *Ecography*. 1995. Vol. 18, no. 2. P. 178–189.

Diekmann M., Dupré C. Acidification and eutrophication of deciduous forests in northwestern Germany demonstrated by indicator species analysis // *Journal of Vegetation Science*. 1997. Vol. 8. P. 855–864.

Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas // *Scripta geobotanica*. Göttingen. 1974. 97 s.

Ellenberg H., Leuschner C. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Ulmer, 2010. 1334 p.

Godefroid S., Dana E. D. Can Ellenberg's indicator values for Mediterranean plants be used outside their region of definition? // *Journal of Biogeography*. 2007. Vol. 34. P. 62–68. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01582.x

Hammer R., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, no. 1. P. 1–9.

Hill M. O., Roy D. B., Mountford J. O., Bunce R. G. H. Extending Ellenberg's indicator values to a new area: an algorithmic approach // *J. Appl. Ecol.* 2000. Vol. 37. P. 3–15. doi: 10.1046/j.1365-2664.2000.00466.x

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A., Abolina A. A., Akatova T. V., Baisheva E. Z., Bardunov L. V., Baryakina E. A., Belkina O. A., Bezgodov A. G., Boychuk M. A., Cherdantseva V. Ya., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dyachenko A. P., Fedosov V. E., Goldberg I. L., Ivanova E. I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S. G., Kharzinov Z. Kh., Kurbatova L. E., Maksimov A. I., Mamatkulov U. K., Manakyan V. A., Maslovsky O. M., Napreenko M. G., Otnyukova T. N., Partyka L. Ya., Pisarenko O. Yu., Popova N. N., Rykovsky G. F., Tubanova D. Ya., Zheleznova G. V., Zolotov V. I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. 2006. Vol. 15. P. 1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Lawesson J. E., Mark S. pH and Ellenberg reaction values for Danish forest plants // *Proceedings of the IAVS Symposium: Vegetation science in retrospective and perspective*. Uppsala: Oplis Press, 2000. P. 151–153.

Lukashov A. D. Geomorphological characteristic. Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 12–17.

Påhlsson L. (ed.). *Vegetationstyper i Norden*. Köpenhamn; 1994. 627 s.

Wamelink G. W. W., Joosten V., van Dobbe H. F., Berendse F. Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements // *Journal of Vegetation Science*. 2002. Vol. 13, no. 2. P. 269–278.

## References

Bradis E. M. The vegetation cover of mire as an indicator of their type in terms of nutrition. *Osnovnye printsipy izucheniya bolotnykh biogeotsenozov = Basic Principles of Studying Mire Biogeocenoses*. Leningrad: Nauka; 1972. P. 29–38. (In Russ.)

Bulokhov A. D. Syntaxonomy of Southern Nechernozemye: Analysis of spectra of life forms and ecobiomorphs. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists*. 1992;97(5):83–90. (In Russ.)

Clarke K. R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 1993;18:117–143.

Czerepanov S. K. Vascular plants of Russia and adjacent states. St. Petersburg: Mir i sem'ya; 1995. 992 p. (In Russ.)

Degteva S. V., Novakovskii A. B. Ecologocenosis species groups of vascular plants in phytocenoses of landscapes in the Upper and Middle Pechora basin. Ekaterinburg: UB RAS Publ.; 2012. 183 p. (In Russ.)

Diekmann M. Use and improvement of Ellenberg's indicator values in deciduous forests of the Boreo-nemoral zone in Sweden. *Ecography*. 1995;18(2):178–189.

Diekmann M., Dupré C. Acidification and eutrophication of deciduous forests in northwestern Germany demonstrated by indicator species analysis. *Journal of Vegetation Science*. 1997;8:855–864.

Dylis N. V. (ed.) Program and methodology of biogeocological research. Moscow: Nauka; 1974. 403 p. (In Russ.)

Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Göttingen; 1974. 97 p.

Ellenberg H., Leuschner C. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart: Ulmer, 2010. 1334 p.

Godefroid S., Dana E. D. Can Ellenberg's indicator values for Mediterranean plants be used outside their region of definition? *Journal of Biogeography*. 2007;34: 62–68. doi: 10.1111/j.1365-2699.2006.01582.x

Hammer R., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1–9.

Hill M. O., Roy D. B., Mountford J. O., Bunce R. G. H. Extending Ellenberg's indicator values to a new area: an algorithmic approach. *Journal of Applied Ecology*. 2000;37:3-15. doi: 10.1046/j.1365-2664.2000.00466.x

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A., Abolina A. A., Akatova T. V., Baisheva E. Z., Bardunov L. V., Baryakina E. A., Belkina O. A., Bezgodov A. G., Boychuk M. A., Cherdantseva V. Ya., Czernyadjeva I. V., Doroshina G. Ya., Dyachenko A. P., Fedosov V. E., Goldberg I. L., Ivanova E. I., Jukoniene I., Kannukene L., Kazanovsky S. G., Kharzinov Z. Kh., Kurbatova L. E., Maksimov A. I., Mamatkulov U. K., Manakyan V. A., Maslovsky O. M., Napreenko M. G., Otnyukova T. N.,

Partyka L. Ya., Pisarenko O. Yu., Popova N. N., Rykovsky G. F., Tubanova D. Ya., Zheleznova G. V., Zolotov V. I. Check-list of mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*. 2006;15:1–130. doi: 10.15298/arctoa.15.01

Jongman R. H. G., ter Braak C. J. F., van Tongeren O. F. R. Data analysis in community and landscape ecology. Moscow: RASKhN Publ.; 1999. 306 p. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Flora and vegetation of mires in Karelia. *Bolotnye ekosistemy severa Evropy: raznoobrazie, dinamika, uglerodnyi balans, resursy i okhrana = Mire ecosystems in Northern Europe: Diversity, dynamics, carbon balance, resources and conservation. Proceedings of international symposium*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2006. P. 145–159. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. Structure and dynamics of the vegetation cover of mire ecosystems of Karelia: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Petrozavodsk; 2006. 53 p. (In Russ.)

Lawesson J. E., Mark S. pH and Ellenberg reaction values for Danish forest plants. *Vegetation science in retrospective and perspective: Proceedings of the IAVS Symposium*. Uppsala: Opulus Press; 2000. P.151–153.

Lopatin V. D. Ecological series of mire vegetation. *Struktura rastitel'nosti i resursy bolot Karelii = Vegetation structure and resources of mires in Karelia*. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1983. P. 5–38. (In Russ.)

Lukashov A. D. Geomorphological characteristic. Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2003. P. 12–17.

Markovskaya E. F. (ed.) Methods for field and laboratory studies of plants and vegetation cover: Collected papers. Petrozavodsk: PetrGU; 2001. 320 p. (In Russ.)

Mirkin B. M., Naumova L. G. Introduction to the modern science of vegetation. Moscow: GEOS; 2017. 280 p. (In Russ.)

Påhlsson L. (ed.). Vegetationstyper i Norden. Köpenhamn; 1994. 627 p.

Popov S. Y., Fedosov V. E. Coenotic distribution and ecological preferences of sphagna in northern taiga, European Russia (Pinezhsky Strict Nature Reserve, Arkhangelsk Region). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2017(9):3–29. doi: 10.17076/eco610 (In Russ.)

Ramenskii L. G., Tsatsenkin I. A., Chizhikov O. N., Antipin N. A. Ecological assessment of forage grasslands based on vegetative cover. Moscow: Sel'khozgiz; 1956. 472 p. (In Russ.)

Trass H. H. Flora and vegetation of fens of Western Estonia: Summary of PhD (PhD. of Biol.) thesis. Tartu, 1955. 24 p. (In Russ.)

Tsyganov D. N. Phytoindication of ecological regimes in the mixed forests zone. Moscow: Nauka; 1983. 198 p. (In Russ.)

Volkova E. M. Mires of Middle-Russian Upland: Genesis, structural and functional features, environmental significance: DSc (Dr. of Biol.) thesis. Tula; 2018. 453 p. (In Russ.)

Wamelink G. W. W., Joosten V., van Dobben H. F., Berendse F. Validity of Ellenberg indicator values judged from physico-chemical field measurements. *Journal of Vegetation Science*. 2002;13(2):269–278.

Zeliankevich N. A., Grummo D. G., Sozinov O. V., Galanina O. V. Flora and vegetation of the raised bogs of Belarus. Minsk: StroyMediaProekt; 2016. 244 p. (In Russ.)

Zverev A. A., Babeshina L. G. Assessment of the conditions of habitats of Sphagnum mosses in the West Siberian plain by the key environmental factors: Objects, data and methodical basis. *Tomsk State University Journal*. 2009;325:167–173. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 01.12.2022; принята к публикации / accepted: 12.12.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Игнашов Павел Алексеевич

младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

e-mail: paul.ignashov@gmail.com

### Кузнецов Олег Леонидович

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории болотных экосистем

e-mail: kuznetsov@krc.karelia.ru

## CONTRIBUTORS:

### Ignashov, Pavel

Junior Researcher

### Kuznetsov, Oleg

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher

УДК 597/599:004

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОЗВОНОЧНЫХ: ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А. В. Коросов<sup>1</sup>, С. В. Бугмырин<sup>2\*</sup>, Т. Л. Бурдова<sup>3</sup>, М. Л. Киреева<sup>1</sup>,  
С. А. Лапина<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Петрозаводский государственный университет (пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

<sup>2</sup> Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*sbugmyr@mail.ru

<sup>3</sup> Министерство образования и спорта Республики Карелия (просп. А. Невского, 57, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030)

Рассмотрены структура, методы пополнения и использования информационной системы, созданной для накопления данных по многолетним учетам мелких млекопитающих в окрестностях Гомсельского биологического стационара Института биологии КарНЦ РАН. Общий объем данных, полученных с 1994 по 2022 г., составляет 5404 записи по животным, 668 записей по линиям отловов. Реляционная база данных по мелким млекопитающим связана с ГИС, в которой отображается пространственное распределение местообитаний животных и расположение учетных линий. Информационная система позволяет хранить разнородные данные в отдельных связанных таблицах, обеспечивающих наглядность и простоту проверки исходных материалов. Для обмена данными между средами разных программ используется простой формат csv. Таблицы базы и ГИС связаны между собой через составное ключевое поле, которое обеспечивает надежную идентификацию объектов (особей) с уникальными пробами (линиями). Для получения определенной выборки строится многоступенчатый запрос, сочетающий простоту редактирования и возможность контроля на каждом этапе отбора и обобщения данных. Предлагаемая структура информационной системы имеет универсальный характер и может использоваться в любых случаях, когда серии образцов отбираются одновременно в отдельной локации. Система может быть использована в средах программ MS Excel, Access, LO Calc, Base, R и QGIS. Обсуждаются формы представления в таблицах данных, связи между таблицами и слоями ГИС; представлены структура и типы запросов. Рассмотрены примеры запросов, ориентированные на извлечение данных для последующей обработки количественными методами и для иллюстраций.

Ключевые слова: база данных; составной ключ; ГИС; мелкие млекопитающие

Для цитирования: Коросов А. В., Бугмырин С. В., Бурдова Т. Л., Киреева М. Л., Лапина С. А. Информационная система для изучения позвоночных: опыт создания и использования // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 8. С. 123–133. doi: 10.17076/eco1614

Финансирование. Исследования выполнены в рамках темы НИР КарНЦ РАН (№ г. р. 122032100130-3).

**A. V. Korosov<sup>1</sup>, S. V. Bugmyrin<sup>2\*</sup>, T. L. Burdova<sup>3</sup>, M. L. Kireeva<sup>1</sup>, S. A. Lapina<sup>1</sup>.  
INFORMATION SYSTEM FOR STUDYING VERTEBRATES: AN EXAMPLE OF  
DEVELOPMENT AND APPLICATION**

<sup>1</sup> Petrozavodsk State University (33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

<sup>2</sup> Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*sbugmyr@mail.ru

<sup>3</sup> Ministry of Education and Sport, Republic of Karelia (57 Al. Nevskogo Ave., 185030  
Petrozavodsk, Karelia, Russia)

The article describes the structure and methods of filling and using the information system created to accumulate data from long-term surveys of small mammals at the Gomselga Biological Research Station of the Institute of Biology KarRC RAS. The data obtained in the period from 1994 to 2022 total 5404 records on individual animals and 668 records on sampling lines. The relational database on small mammals is linked to the GIS which maps of the spatial distribution of animal habitats and the locations of sampling lines. The information system permits storing different types of data in separate interlinked tables which make the source material more visual and easily verifiable. Data are shared between different program environments using the simple csv format. The database and GIS tables are linked via a composite key field facilitating accurate matching of objects (individuals) to unique samples (lines). To acquire a certain subset the user makes a multistage query which is both easily editable and enables control at each stage of data selection and integration. The proposed structure of the information system is universal in nature and applicable whenever series of samples are collected simultaneously in a given locality. The system can be used in the MS Excel, Access, LO Calc, Base, R, and QGIS program environments. The formats of data presentation in tables and links between tables and GIS layers are discussed; the structure and types of queries are presented. Sample queries for acquiring data for subsequent processing by quantitative methods and for illustrations are provided.

Keywords: database; composite key; GIS; small mammals

For citation: Korosov A. V., Bugmyrin S. V., Burdova T. L., Kireeva M. L., Lapina S. A. Information system for studying vertebrates: an example of development and application. *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2022. No. 8. P. 123–133. doi: 10.17076/eco1614

Funding. The study was carried out within a KarRC RAS research theme (state registration no. 122032100130-3).

## **Введение**

Основная биологическая цель организации работ на изучаемой территории состояла в исследовании популяций мелких млекопитающих как прокормителей личинок и нимф иксодовых клещей, переносчиков возбудителей опасных трансмиссивных заболеваний человека и животных. В последние годы лесные массивы района работ интенсивно вырубались, и к настоящему времени ландшафт представлен мозаикой разновозрастных насаждений, очень благоприятной средой для распространения как микромаммалий, так и иксодовых клещей. Для фиксации результатов учетов животных и их местообитаний информационная система должна включать средства манипуляции данными (база данных) и их пространственного представления (ГИС).

Эффективная информационная система должна обеспечивать простой ввод, хранение и извлечение информации, причем в форме, нужной для непосредственного анализа – как визуального (ГИС), так и с помощью количественных методов [Костина и др., 2003]. Кроме того, система должна быть достаточно простой, чтобы работать с ней могли все занятые в работе специалисты, а не только единственный ответственный за ее обслуживание. Наша база данных, включающая в себя материалы по мелким млекопитающим и их местообитаниям, создавалась именно с этих позиций.

## **Материалы и методы**

Изучение населения мелких млекопитающих силами лаборатории паразитологии Института биологии ИБ КарНЦ РАН началось в

1994 г. в окрестностях биологического стационара «Гомсельга», д. Малая Гомсельга (N62.07°, E33.95°). Обследуется территория площадью 3×3 км. Создание информационной системы в содружестве с кафедрой зоологии ПетрГУ началось в 1999 г., последнее пополнение базы выполнено в марте 2022 г. Собранные информация первично вводится в файлы типа **.xls**. Общий объем данных, собранный с 1994 по 2022 г., составляет 5404 записи по животным, 668 записей по линиям. Местообитания животных в районе работ изучались на территории 3×3 км. Значительная доля района работ занята водоемами (10 % площади). Малопродуктивные для мелких млекопитающих верховые сфагновые болота занимают около 4 % от общей площади, луга – 5 %. Остальная территория занята лесами (81 %). В послевоенный период была покрыта спелыми хвойными и смешанными лесами. После 1950 г. к настоящему времени эти леса вырублены на 80 % и заменены разновозрастными древостоями. Около 15 % территории все еще занимают спелые леса. Распространение разновозрастных массивов представлено в 20 слоях ГИС, последнее обновление выполнено в 2022 г.

Последовательная обработка новой информации включает использование нескольких программ. Информация по учету зверьков и описанию биотопов из журнала и с карт вводится в таблицы в среде Microsoft Excel или Libre Office Calc в файлы типа xls или csv. В среде MS Access (или LO Base, или R) информация аккумулируется и хранится в файлах типа dbf, mbd, obd, csv и с помощью запросов выводится для анализа. Появление новых вырубок отслеживается по спутниковым снимкам, представленным в открытом доступе в Интернете. Вся картографическая информация хранится и обрабатывается в среде ГИС (ранее в программе MapInfo, теперь – в QGIS) в файлах формата shp. Целевые выборки из базы данных обрабатываются в среде пакетов статистического анализа (PAST, R). Поскольку многие программы плохо «понимают» кириллицу, названия полей в базах данных представлены на латинице.

## Результаты

Работу над базой данных можно разделить на три этапа – создание (и оптимизация) структуры, наполнение новыми данными (поддержка) и текущее использование. Реляционная база данных по отловам зверьков связана с ГИС, в которой отображается размещение местообитаний животных и учетных линий.

## Структура базы данных

База данных построена из нескольких таблиц, связанных между собой. Главное требование к ним мы определяем как «единообразная уникальность» [Коросов, Горбач, 2021]. «Единоеобразие» относится к набору полей – каждая запись (строка) должна нести одинаковые характеристики, записанные в полях (столбцах). «Уникальность» относится к записям (строкам) – каждая строка должна быть уникальна, т. е. отличаться от других записей значением хотя бы в одном поле.

Данные отловов представлены в четырех связанных таблицах: **species** (с полными названиями видов), **animals** (с характеристиками зверьков), **traps** (с описанием учетных линий ловушек), **biotops** (с описанием биотопов). В название таблиц **animals** и **traps** включен год последнего обновления (рис. 1).

Вспомогательная таблица **biotops** включает в себя 7 записей с полями *nbiot* (номер биотопа), *abiot* (возраст от и до: 1–2, 3–6, 7–11, 12–17, 18–35, 35–100, 100–200), *nambiot* (название биотопа: grass, bush, grove, young, leaf, mixed, conifer) (см. ниже).

Таблица **species** (18 записей) содержит два поля – точное название вида зверька (*species*) и трехбуквенную аббревиатуру (*spc*), составленную из строчных букв: первой буквы родового названия и двух первых букв видового, например, sar – *Sorex araneus*. Сокращение используется для безошибочного ввода видового названия в среде Excel.

Таблица **traps to 2021** (668 записей) включает описания каждой линии давилок, в том числе *nlin* (номер линии), *year* (год), *mon* (месяц), *season* (сезон), составной ключ *yeseli*, ... день начала и конца отловов, ..., *traday* (число давилко-суток), *biotop* (тип биотопа). Поле *season* дополняет поле *mon*, оно введено для учета работы линий, которые были поставлены в один месяц, а сняты в другой. Для таких линий в поле *season* вносится месяц с большей продолжительностью учетов. Для каждой линии рассчитывается *уникальный* составной ключ:  $yeseli = year * 10\ 000 + season * 100 + nlin$ . Например, 3 линия 8 сезона 2017 года получит значение:  $2017 * 10\ 000 + 8 * 100 + 3 = 20170803$ .

Таблица **animals to 2021** (5404 записи) содержит описание отловленных особей разных видов; одна запись несет 35 значений (полей). Основными ключевыми полями для шаблонных запросов по оценкам численности являются *ppr* (номер особи), *spc* (вид), *year* (год), *mon* (месяц), *season* (сезон), *nlin* (номер линии), *yeseli* (составной ключ). Для каждой записи

animals to 2021.xlsx - LibreOffice Calc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	npp	dnum	spc	day	mon	year	season	sex	fer	age	YMeLi	yeseli	nlin
2	1	1	mag	16	6	1994		F		9	199406001	199406001	1
3	2	2	clg	16	6	1994		M			199406001	199406001	1
4	3	3	mag	17	6	1994		M			199406001	199406001	1
5	4	4	clg	17	6	1994		F	juv	1	199406001	199406001	1
6	5	5	mag	17	6	1994		M			199406001	199406001	1
7	6	6	sbe	17	6	1994		M			199406001	199406001	1
8	7	7	clg	17	6	1994		F	juv	1	199406001	199406001	1

traps to 2022.xlsx - LibreOffice Calc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	N	O	P
1	Npp	nlin	NlineT	YSeKa	yeseli	season	year	mon	day	Traps	traday	biotop
2	159	1		199400000	199405001	5	1994	6	15	50	450	meadow
3	228	3		199400000	199405003	5	1994	6	15	50	450	mixed
4	160	1		199400000	199406001	6	1994	6	26	50	200	meadow
5	229	3		199400000	199406003	6	1994	6	26	50	200	mixed
6	161	1		199400000	199410001	10	1994	10	5	50	200	meadow
7	230	3		199400000	199410003	10	1994	10	5	50	200	mixed
8	162	1		199500000	199505001	5	1995	6	5	50	200	meadow
9	163	1		199500000	199505001	5	1995	6	11	50	200	meadow

Рис. 1. Заголовки основных таблиц базы данных  
 Fig. 1. Headers of the main database tables

рассчитывается составной ключ  $yeseli = year * 10\ 000 + season * 100 + nlin$ . Одинаковые значения этого ключа несут все особи, попавшие в ловушки данной линии. Ключевыми полями для запросов по выборкам зверьков, кроме указанных, служат поля *sex* (пол), *fer* (зрелость), *age* (возраст). Каждая строка содержит многие другие характеристики особи: масса тела и органов, размеры тела и органов, описание половой системы и пр. (*w*, *lt*, *lc*, *lp*...).

Связи между таблицами выполняются по ключевым полям. Таблицы **species** и **animals** связаны по полю *spc* (подстановка). Таблицы **animals** и **traps** связаны по составному ключу *yeseli*.

### Структура ГИС

В ГИС включены пять групп слоев.

Картографические слои (**Карты**) – это растры отсканированных карт (формат geotiff), которые имеют географическую привязку к району исследований – местам постановки линий отлова и контурам биотопов.

Спутниковые слои (**Снимки**) – привязанные к местности растровые снимки (формат geotiff), служащие для дешифрирования и выделения биотопов. Снимки взяты из открытых

источников (<https://earthexplorer.usgs.gov/> и <https://earth.google.com/web/>). Анализ снимков за прошедшие годы позволил отобрать для работы 19 снимков, выполненных с промежутком 2–5 лет (с 1969 по 2021 г.).

Слои с линиями ловушек (**Линии**) – векторные слои линейных объектов (формат shp), на которые нанесены локализации линий ловушек (**lines\_1994**, ... **lines\_2021**). Такая карта строится в конце полевого сезона. Таблица несет четыре поля: *nlin* (номер линии ловушек), *mon* (месяц), *season* (сезон), *year* (год отлова); *yeseli* (составной ключ) рассчитывается как  $yeseli = year * 10\ 000 + season * 100 + nlin$ . Аналогичный ключ рассчитывается в таблицах базы данных **traps** и **animals**. По мере проведения новых отловов в ГИС вносятся расположение и характеристики новых линий. Число записей в слое **lines\_** совпадает с числом записей в таблице **traps to....** для одних и тех же лет.

Слои биотопических выделов (**Биотопы**) – это векторные слои площадных объектов (формат shp), построенных по контурам выделенных биотопов. В нашем случае в качестве биотопа принят такой тип местности, который надежно идентифицируется по снимку и которому соответствует определенный возраст. Хорошо заметным *болотам* задан возраст 1000 лет,

лугам – 300 лет. Свежая вырубка хорошо идентифицируется на снимке по контурам и получает возраст 0. С каждым годом ее возраст увеличивается, и тип биотопа меняется. Для идентификации биотопов выполнены многочисленные их описания по упрощенной геоботанической схеме [Коросов и др., 2003]. Анализ карт, аэро- и космических снимков (с 1950 по 2021 г.) и полевых описаний показал, что в изучаемом районе существенные по размеру биотопы отличаются только возрастом. Исходная реконструированная карта (для условного 1950 г.) включала всего пять явно различающихся типов биотопов (луг, болото, лиственный лес, смешанный лес, хвойный лес). Сплошные рубки, проводимые в последующие годы, сделали ландшафт мозаичным. На каждой делянке идет типичная для юга Карелии сукцессия, не раз описанная в литературе и обобщенная нами для региона исследований [Гусева и др., 2014]. Это исследование позволило выделенным вырубкам определенного возраста назначить соответствующий ему тип биотопа: 0–3 лет – свежая вырубка (grass), 4–7 – молодая вырубка (bush), 8–11 – заростающая вырубка (grove), 12–18 – молодой лес, жердняк, роща (young), 19–35 – лиственный лес (leaf), 36–100 – смешанный лес (mixed), более 100 лет – хвойный лес (conifer) с преобладанием сосны; чистых ельников нет. Эта информация зафиксирована во вспомогательной таблице **biotops**. Для составления карт на космических снимках за разные годы выявили све-

жие рубки, которые нанесли на 19 отдельных слоев (**cut\_xxxx**) для следующих лет: 1960, 1965, 1970, 1973, 1975, 1978, 1984, 1986, 1989, 1993, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013, 2015, 2017, 2019, 2021 гг. Для тех же лет были построены 20 слоев биотопов **biotop\_1950, ... biotop\_2021**. Слой **biotop\_1950** включал всего пять типов биотопов. На слои для последующих лет добавлялись области (region) вырубленных лесов (свежие вырубки). Слой **biotop\_2021** несет уже 10 типов выделов (рис. 2). Таблица для каждого слоя **biotop\_** несет поля: *npp* (номер записи), *abiot* (возраст биотопа), *nambiot* (имя или тип биотопа).

Связи между разными слоями обеспечиваются привязкой к одной системе координат (в нашем случае WGS84 UTM Zone 36N), что обеспечивает возможность пространственных совмещений. Так организована связь между слоями **cut\_x**, **biotop\_x** и **lines\_x**, в котором они стояли. Связь между картой **lines** и таблицей **traps** среды Access задается по составному ключевому полю *yeseli*.

#### Поддержание ГИС

Обновление ГИС и баз данных осуществляется по окончании полевого сезона и призвано отобразить как изменения, произошедшие в природе, так и итоги полевых работ.

Дополнение слоя **Биотопы** – сложная исследовательская задача, поскольку с течением времени типы биотопов меняются по двум причинам. Во-первых, в регионе постоянно

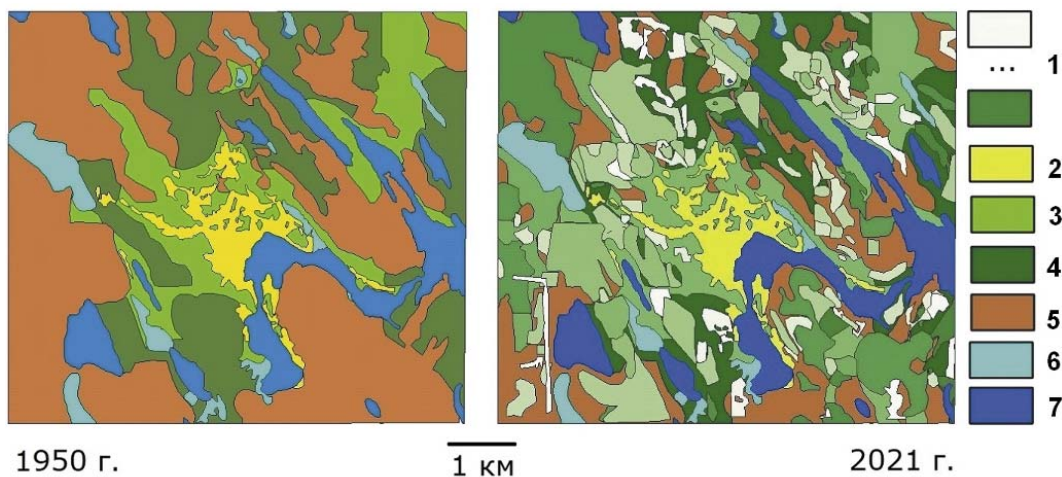


Рис. 2. Карта биотопов для 1950 и 2021 гг.:

1 – вырубки разного возраста; 2 – луга; 3 – лиственные леса; 4 – смешанные леса; 5 – хвойные леса; 6 – болота; 7 – озера

Fig. 2. Map of biotopes for 1950 and 2021:

1 – felling sites of various ages; 2 – meadows; 3 – deciduous forests; 4 – mixed forests; 5 – coniferous forests; 6 – swamps; 7 – lakes



появляются новые рубки, во-вторых, возраст биотопов увеличивается на 1 год. Для учета свежих вырубок выполняются следующие манипуляции (например, для слоя **biotop\_1989**) (рис. 3): 1) загрузка нового космического снимка для текущего года, 2) создание нового векторного слоя, отображающего свежие рубки (с возрастом 0) (**cut\_1989**), 3) вырезание из слоя **biotop\_1986** слоя **cut\_1989** (спелые леса сокращают площадь), 4) добавление в слой **biotop\_1989** слоя **cut\_1989** (замещение вырубленных выделов спелых лесов выделами рубок), 5) сохранение слоя (как **biotop\_1989**). Для пересчета возраста биотопов в обновленной таблице слоя **biotop\_1989** с помощью калькулятора полей к возрасту биотопа (*abiot*) прибавляется единица. Затем полученный возраст визуально сверяется со шкалой серии биотопов по возрастам (таблица **biotops**), и при достижении порогового возраста в поле *nambiot* вручную вписывается (копируется из таблицы **biotops**) новое название биотопа, слой **biotop\_1989** сохраняется. Процедура выполняется ответственным за обслуживание базы.

#### Поддержание базы данных

При дополнении основных таблиц новой информацией работа идет с тремя таблицами – старой, вспомогательной и обновленной. Информация о полевых работах (например, за 2021 г.) заносится в две таблицы базы данных формата xls, csv.

Характеристика отловленных зверьков вносится во вспомогательную таблицу **animals2021**; в качестве шаблона для полей используется первая строка общей таблицы **animals**. После

заполнения этой вспомогательной таблицы рассчитываются значения составного поля *yeseli*. Затем все записи переносятся в таблицу **animals to 2020**, которая сохраняется с новым именем **animals to 2021**.

Описание линий ловушек (поставленных, например, в 2021 г.) вносится в таблицу **traps2021**, после заполнения рассчитываются значения составного поля *yeseli*. Каждой новой линии таблицы **traps2021** присваивается тип биотопа, в котором выполнялся отлов. Для этого в среде ГИС открываются два слоя: **biotop\_2021** и **lines\_2021**. Объекты слоя **biotop\_2021** подписываются из поля *nambiot*, объекты слоя **lines\_2021** подписываются из поля *nlin*. На карте становится видно, в каком типе биотопа была установлена каждая данная линия. Это название биотопа вручную записывается (копируется из таблицы **biotops**) в поле *nambiot* таблицы **traps2021**. После заполнения таблицы все записи копируются в таблицу **traps to 2020**, которая сохраняется с новым именем **traps to 2021**.

Ввод данных в среде Excel (Calc) не требует специальной подготовки. При возникновении проблемы комментарием можно записать в текущей строке в поле для комментариев, чтобы к ней вернуться во время проверки ответственным за базу.

Если для ведения базы используется программа Access (Base), то блоки новых данных с листа Excel (Calc) копируются в буфер обмена и добавляются к соответствующей таблице в среде Access. Работа выполняется любым сотрудником, но контролируется ответственным за базу. При манипуляции с базой данных в среде R используются только файлы xls (или csv).

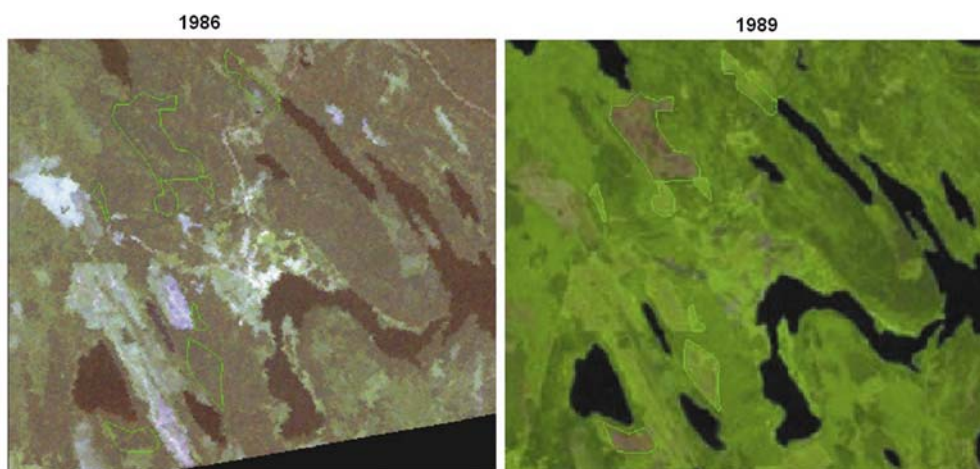


Рис. 3. Выявление новых рубок на снимке 1989 г. при сравнении со снимком 1986 г.  
Fig. 3. Identification of new fellings in the 1989 image compared with the 1986 image



### Использование базы данных. Запросы

Запрос – это и процедура, и результат ее выполнения в виде новой таблицы (выборки), в которой определенным образом комбинируются данные из исходных таблиц базы данных или других запросов. Запрос (шаблон для процедуры) сначала нужно построить, затем им можно многократно пользоваться (для создания разных выборок). В нашей базе построением шаблонов запросов занимается только ответственный за базу. В нашей практике с помощью запросов строятся выборки морфологических характеристик самих зверьков и выборки по учету численности зверьков. Запросы можно создавать в средах Access и Base. Но для краткости записи даны примеры запросов в среде R.

Запрос на выборку для популяционно-морфологической характеристики – это простые запросы, они оперируют только одной таблицей, **animals**. В запросе указывается имя таблицы, задается список ключевых полей, а также список полей с данными для обработки. После этого вводятся значения – критерии для отбора особей определенного статуса (вид, пол, зрелость, возраст). В результате формируется выборка, подлежащая обработке. В примере – формирование выборки и построение распределения по массе тела лесной мышовки (рис. 4):

```
>mm<-read.csv(«animals to 2021.csv»)
>hist(mm[mm$spc=='sbe',17])
```

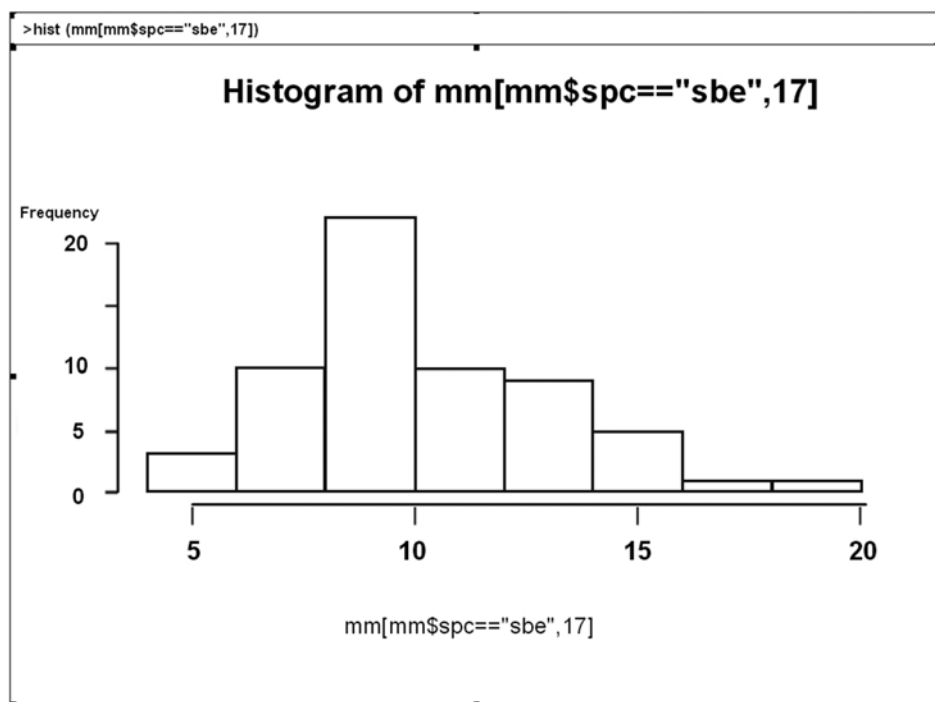


Рис. 4. Распределения значений массы тела лесной мышовки (*Sicista betulina*)  
Fig. 4. Distributions of body mass values of the northern birch mouse (*Sicista betulina*)

Запрос на выборку для оценки относительной численности основан на двух таблицах – **animals** и **traps**. Основной смысл информационной системы состоит в том, чтобы рассчитывать значения относительной численности зверьков, то есть подсчитывать число зверьков (N), попавших в определенное число ловушек (n), и найти частное между этими числами (N/n). При этом необходимо сохранить и те учеты, когда в линии не попалось

ни одного зверька, т. е. для которых нет записей в таблице **animals**. Чтобы не допустить такие потери, ведущей таблицей при подсчетах относительной численности является таблица регистрации линий **traps**. С помощью оценок численности требуется описать динамику по годам, сезонам, районам, биотопам, видам и пр.

Общая архитектура построения запроса для определения относительной численно-

сти складывается из 5 ступеней, или этапов, причем независимо от того, в какой среде они выполняются – в Access, Base или R. Для краткости мы рассмотрим пример построения запросов в среде R. Пример запроса на выборку рассмотрен для характеристики сезонной динамики относительной численности обыкновенной бурозубки (*spc = 'sar'*) в хвойных биотопах (*biotop = 'coniferous'*).

На первом этапе строится *простой запрос* относительно зверьков – из исходной таблицы **animals** отбираются все зверьки определенного статуса – вида, возраста, зрелости. В конце концов именно для этой группы живот-

ных и будут рассчитываться характеристики относительной численности. При построении такого запроса (выборки) сокращается не только количество записей (строк), но и количество полей. Можно оставить только те поля, что понадобятся для последующей обработки и для контроля правильности отбора: *yeseli*, Год (*year*), Сезон (*season*), Биотоп (*biotop*), Номер линии (*nlin*). В одну линию могут попасться несколько зверьков, значит, в первом запросе одинаковые значения ключа *yeseli* могут повторяться. Для обеспечения устойчивости всей работы этот запрос (выборка) сохраняется как отдельная (рабочая) таблица с именем **query01**.

```
>mm<-read.csv(«animals to 2021.csv»)
>head(mm[,1:13],1)
  npp dnum spc day mon year Season sex fer age YMeLi yeseli line
1    1    1 mag  16   6 1994     6   F    9 199406001 199406001 1
>query01<- mm[mm$spc=='sar',]
>head(query01[,1:13],1)
  npp dnum spc day mon year Season sex fer age YMeLi yeseli line
11   11   11 sar  20   6 1994     6   M  ad  1 199406001 199406001 1
```

На втором этапе строится *итоговый запрос*, который подсчитывает число зверьков заданного статуса, попавших в каждую отдельную линию. Ключом для обобщения служит поле *yeseli*, полем для подсчета может быть любое, например, то же ключевое *yeseli*. Запрос несет

новое поле *count*, содержащее число попавшихся в линию зверьков. Каждая запись в этой вторичной выборке стала уникальна (по ключу *yeseli*) и соответствует только одной записи (линии) из таблицы **traps**. Запрос получает имя **query02**.

```
>query02 <- aggregate(query01$yeseli,list(query01$yeseli),length)
>names(query02)<-c('yeseli','count')
>tail(query02,3)
  yeseli count
688 201609001    11
689 201609002     4
690 201609003     4
```

На третьем этапе объединяются данные по зверькам и ловушкам, т. е. создается *простой запрос* с объединением таблицы **traps** и запроса **query02**. При этом к каждой линии таблицы **traps** присоединяется запись из запро-

са **query02**, т. е. число попавшихся зверьков. Поскольку в некоторые линии зверьки не попадались, вместо числа особей к этой записи добавляется значение NULL (или NA). Запрос сохраняется с именем **query03**.

```
>tra<-read.csv(«traps to 2021.csv»)
>head(tra,1)
  Npp nlin yeseli season year mon day yearEnd monEnd dayEnd period Traps traday biotop
1 159   1 199405001     5 1994  6  15  1994     6    24   NA    50  450 meadow
>tr<-tra[,c(3,4,5,13,14)]
>query03<-merge(tr,query02,by='yeseli')
>head(query03,1)
  yeseli season year traday biotop count
1 199406001     6  1994    200 meadow     3
```

На четвертом этапе осуществляется отбор тех характеристик линий, которые нужны для фор-

мирования обобщающей таблицы. Могут потребоваться обобщения по разным годам (меж-

годовая динамика), по сезонам (сезонная динамика), по биотопам (биотопическое размещение) или в разных комбинациях этих критериев. С этой целью на основании **query03** строится

простой запрос с именем **query04**, в который (в режиме конструктора вручную) вводятся критерии отбора. В результате формируется сокращенная таблица отловов в конкретные линии.

```
>query04<-query03[query03$biotop=='conifer',]
>nrow(query04)
[1] 60
```

На пятом этапе подводятся итоги расчетов, то есть суммируется количество зверьков и количество давилко-суток по выделенным критериям, а затем отыскиваются отношения этих значений. Общая формула расчетов такова:  $100 * (\text{сумма зверьков за период отлова}) / (\text{сумма давилко-суток, работавших в данном месте в течение всего времени})$ , единицы – число особей на 100 давилко-суток. В среде Access

новый запрос **query05** строится в форме *перекрестной таблицы* на основе **query04**. В режиме конструктора в него можно включить разные поля из запроса **query04**. Результатом является обобщенная двупольная таблица, в которой фигурируют оценки относительной численности в данном биотопе в данный период времени для зверьков заданного статуса (например, конкретного вида).

число зверьков:

```
>(comm<-tapply(query04$count,query04$season,sum))
 1  5  6  7  8  9 10
27  3 14 82 173 4 22
```

число давилко-суток:

```
>(cotr<-tapply(query04$traday,query04$season,sum))
 1  5  6  7  8  9 10
506 400 840 2450 2939 150 585
```

численность (число особей на 100 давилко-суток):

```
>(query05<-round(100*comm /cotr ,2))
 1  5  6  7  8  9 10
5.34 0.75 1.67 3.35 5.89 2.67 3.76
```

Расчеты показали, что попадаемость бурозубок в течение теплого сезона возрастает с 0,8 до 6 экз. на 100 давилко-суток, а

осенью падает.

Второй пример – распределение тех же бурозубок по биотопам:

```
> query04<-query03[query03$season==8,]
> (comm<-tapply(query04$count,query04$biotop,sum))
 bog bush conifer grass grove leaf meadow mixed young
 8 84 173 90 93 110 115 117 199
> (cotr<-tapply(query04$traday,query04$biotop,sum))
 bog bush conifer grass grove leaf meadow mixed young
 350 920 2939 717 935 1179 2643 2211 1796
> (query05<-round(100*comm /cotr ,2))
 bog bush conifer grass grove leaf meadow mixed young
 2.29 9.13 5.89 12.55 9.95 9.33 4.35 5.29 11.08
```

Расчеты показали, что попадаемость бурозубок в августе во вторичных биотопах (разнородные вырубки) выше, чем в первичных (болота, луга, леса).

## Обсуждение

Остановимся на основных проблемах, которые пришлось решать при построении информационной системы.

Существенным моментом, на наш взгляд, является отказ как от «стандартной нумерации», так и от «сквозной нумерации» линий ловушек («проб», «точек отбора проб»). В начале работ некоторые линии получили «стабильные» номера 1, 2, ... 7. Однако в силу разных обстоятельств линии оказывались разными по размеру – то 25, то 50 давилко, часть линий из-за удаленности стали недоступными, а линии на вырубках через 20 лет оказались в лесу.

Номер линии перестал соответствовать свойствам биотопов. Наши организационные попытки придерживаться однотипной сквозной нумерации тоже потерпели неудачу. В разные годы животных отлавливали от 1 до 4 групп разных исполнителей. И все усилия, потраченные в конце сезона на согласование номеров линий (в хронологическом порядке), становились напрасными, когда появлялись новые данные от другой группы. В конце концов опыт подсказал, что сообщить индивидуальность каждой записи в таблице линий может только уникальный составной ключ, надежно идентифицирующий каждую линию. Поскольку отловы велись не чаще одного раза в месяц, указание в составном ключе (*yeseli*) года, месяца и рабочего номера линии оказалось достаточным, чтобы отличать линии.

Большой проблемой оставалась оценка принадлежности каждой линии к тому или иному типу биотопа. За последние 70 лет в районе работы вырублено 80 % хвойных лесов, на месте которых формируются вторичные леса. За те 30 лет, что здесь проводятся наблюдения за мелкими млекопитающими, многие территории существенно сменили свой статус. При постановке линии каждый раз приходилось заново называть биотоп, что разные исполнители могли делать по-разному. Путаница с назначением типа биотопа закончилась только тогда, когда была принята возрастная шкала для назначения типа биотопа и построены ГИС-слои, идентифицирующие возраст биотопа, позволяющий их однозначно классифицировать. Таким образом, ГИС играет ключевую роль в формировании представлений о пространственном распределении микромаммалий.

Наш опыт подсказывает, что планирование любого экологического исследования должно включать в себя создание и обслуживание информационной системы – базы данных и ГИС. Сразу создать оптимальную структуру вряд ли получится в связи с еще устойчивой традицией ведения записи первичной информации в журналы. Не отрицая необходимость журналов, формат записи в них нужно трансформировать с учетом удобства последующего ввода данных в компьютер.

Созданная нами структура и наполнение информационной системы помогали подготавливать материал для расчетов и публикаций (число в скобках), посвященных особенностям динамики микромаммалий на севере (3), рассматривающих пространственное и биотопическое размещение зверьков (5) и их паразитов (7), анализирующих причины динамики численности отдельных видов (обыкновенной

бурозубки – 4, рыжей полевки – 2), а также рассматривающих явление скейлинга для местных сообществ микромаммалий (1). Опыт сопряжения баз данных с ГИС вошел в учебные пособия по технике ведения ГИС (2) и практике обработки биологических данных (5).

## Заключение

Построенная нами информационная система на основе реляционной базы данных и ГИС по результатам учетов мелких млекопитающих позволяет хранить разнородные данные в отдельных связанных таблицах, обеспечивающих наглядность и простоту проверки исходных материалов. Для обмена данными между средами разных программ используется простой формат csv. Прозрачная структура информационной системы позволяет обрабатывать данные в средах разных программ – Access, Base, R. Связи (relations) между таблицами базы и ГИС обеспечиваются через составное ключевое поле *yeseli*, которое обеспечивает надежную идентификацию объектов (особей) с уникальными пробами (линиями). Для получения определенной выборки данных, необходимых для обработки или иллюстрации, строится многоступенчатый запрос, сочетающий простоту редактирования, возможность строгого контроля на каждом этапе отбора и обобщения данных и любую степень сложности решаемой задачи.

Предлагаемая структура информационной системы имеет универсальный характер и может использоваться в любых случаях, когда серии образцов отбираются одновременно в отдельной локации. Построенная нами база данных помогла подготовить и опубликовать 24 статьи в реферируемых изданиях, 5 учебных пособий, защитить 3 кандидатских диссертации.

## Литература

- Гусева Т. Л., Коросов А. В., Беспятова Л. А., Анисанова В. С. Многолетняя динамика биотопического размещения обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) в мозаичных ландшафтах Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8(145). С. 13–20.
- Коросов А. В., Горбач В. В. Практическое введение в среду R. Петрозаводск: ПетрГУ, 2021. 117 с. URL: <https://disk.yandex.ru/i/skOj2DT4UTIWGQ> (дата обращения: 20.05.2022).
- Коросов А. В., Матросова Ю. М., Бугмырин С. В., Анисанова В. С., Беспятова Л. А. Опыт реконструкции территориального размещения рыжей полевки в мозаичном ландшафте южной Карелии // Труды

Карельского научного центра РАН. 2003. Вып. 4. Биогеография Карелии (флора и фауна таежных экосистем). С. 204–212.

Костина Н. В., Розенберг Г. С., Шитиков В. К. Экспертная система экологического состояния бассейна крупной реки // Известия Самарского НЦ РАН. 2003. Т. 5, № 2. С. 284–294.

## References

Guseva T. L., Korosov A. V., Bespyatova L. A., Anikanova V. S. Long-term dynamics of biotopical distribution of a common shrew (*Sorex araneus* Linnaeus, 1758) in Karelian mosaic landscape. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2014;8(145):13–20. (In Russ.)

Korosov A. V., Gorbach V. V. A practical introduction to R. Petrozavodsk: PetrSU; 2021. 117 p. URL: <https://disk.yandex.ru/i/skOj2DT4UTIWGQ> (accessed: 20.05.2022). (In Russ.)

Korosov A. V., Matrosova Yu. M., Bugmyrin S. V., Anikanova V. S., Bespyatova L. A. An attempt of the reconstruction of bank vole (*Clithrionomys glareolus*) territorial distribution in mosaic landscapes of Southern Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2003;4:204–211. (In Russ.)

Kostina N. V., Rozenberg G. S., Shitikov V. K. Expert system of ecological status of basin of larger river. *Izvestiya Samarskogo NC RAN = Izvestia of Samara Scientific Center RAS*. 2003;5(2):284–294. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 31.05.2022; принята к публикации / accepted: 02.12.2022.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Коросов Андрей Викторович

д-р биол. наук, профессор кафедры зоологии и экологии Института биологии, экологии и агротехнологий

*e-mail: korosov@petsu.ru*

### Бугмырин Сергей Владимирович

канд. биол. наук, заведующий лабораторией паразитологии животных и растений

*e-mail: sbugmyr@mail.ru*

### Бурдова Татьяна Леонидовна

ведущий специалист отдела лицензирования Управления государственного контроля (надзора) в сфере образования

*e-mail: burdova@minedu.karelia.ru*

### Киреева Марина Леонидовна

научный сотрудник лаборатории функциональной зоологии

*e-mail: kireeva89@yandex.ru*

### Лапина Софья Александровна

студентка Института биологии, экологии и агротехнологий

*e-mail: akella.keidg@yandex.ru*

## CONTRIBUTORS:

### Korosov, Andrey

Dr. Sci. (Biol.), Professor

### Bugmyrin, Sergey

Cand. Sci. (Biol.), Head of Laboratory

### Burdova, Tatyana

Leading Specialist

### Kireeva, Marina

Researcher

### Lapina, Sofya

Student

## 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, утраты 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 электронная версия статьи, которую авторы вычитывают и заверяют.

Журнал имеет систему электронной редакции на базе Open Journal System (OJS), позволяющую вести представление и редактирование рукописи, общение автора с редколлегиями серий и рецензентами в электронном формате и обеспечивающую прозрачность процесса рецензирования при сохранении анонимности рецензентов (<http://journals.krc.karelia.ru/>).

Содержание выпусков Трудов КарНЦ РАН, аннотации и полнотекстовые электронные версии 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: 185910, 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 в систему электронной редакции на сайте <http://journals.krc.karelia.ru> либо высылаются на e-mail: [trudy@krc.karelia.ru](mailto:trudy@krc.karelia.ru), или же представляются в редакцию лично (г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11, каб. 502).

Для публикации в выпусках серии «Математическое моделирование и информационные технологии» рукописи принимаются в формате .tex (LaTeX 2ε) с использованием стилевого файла, который находится по адресу <http://transactions.krc.karelia.ru/section.php?id=755>.

**Обязательные элементы рукописи располагаются в следующем порядке:**

УДК курсивом в левом верхнем углу первой страницы; заглавие статьи на русском языке полужирным шрифтом; инициалы и фамилии авторов на русском языке полужирным шрифтом; полное название и полный почтовый адрес 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 аффилированным организациям; следует отметить звездочкой автора, ответственного за переписку, и указать в аффилиации его электронный адрес); аннотация на русском языке; ключевые слова на русском языке; указание источников финансирования выполненных исследований на русском языке.

Далее располагаются все вышеуказанные элементы на английском языке.

Текст статьи (статьи экспериментального характера, как правило, должны иметь разделы: **Введение. Материалы и методы. Результаты и обсуждение. Выводы** либо **Заключение**); благодарности; списки литературы на языке оригинала (**Литература**) и на английском языке (**References**); таблицы на русском и английском языках (на отдельных листах); рисунки (на отдельных листах); подписи к рисункам на русском и английском языках (на отдельном листе).

На отдельном листе дополнительные сведения об авторах: фамилии, имена, отчества всех авторов полностью на русском и английском языке; должности, ученые звания, ученые степени авторов; адрес электронной почты каждого автора; можно указать телефон для контакта редакции с авторами статьи.

ЗАГЛАВИЕ СТАТЬИ должно точно отражать ее содержание и состоять из 8–10 значащих 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 (как правило, не менее пяти). Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой, в конце точка не ставится.

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. На табличный и иллюстративный материал следует ссылаться 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 первым словом 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. 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.

РИСУНКИ представляются отдельными файлами с расширением TIFF (\*.TIF) или JPG. При первичной подаче материала в редакцию рисунки вставляются в общий текстовый файл. При сдаче материала, принятого в печать, все рисунки должны быть представлены в виде отдельных файлов в вышеуказанном формате. Графические материалы могут быть снабжены указанием желательного размера рисунка, пожеланиями и требованиями к конкретным иллюстрациям. На каждый рисунок должна быть как минимум одна ссылка в тексте. Иллюстрации объектов, исследованных с помощью фотосъемки, микроскопа (оптического, электронного 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 желательна 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 обозначен представленный на основной карте участок.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ приводятся на русском и английском языках, должны содержать достаточную 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.** Названия таксонов рода и вида даются курсивом. 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 желательным 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 брюхоногого моллюска *Margarites groenlandicus* (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 прочие сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Располагаются после основного текста статьи отдельным абзацем, в котором авторы выражают признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и организациям, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи.

**ИНФОРМАЦИЯ О КОНФЛИКТЕ ИНТЕРЕСОВ.** При подаче статьи авторы должны раскрыть потенциальные конфликты интересов, которые могут быть восприняты как оказавшие влияние на результаты или выводы, представленные в работе. Если конфликт интересов отсутствует, следует об этом сообщить в отдельной формулировке.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ** следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008. Источники располагаются 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 авторов ставится пробел.

**REFERENCES.** Приводится отдельным списком, повторяя все позиции основного списка литературы. Библиографические записи источников оформляются согласно стилю Vancouver (см. примеры в ГОСТ Р 7.0.7-2021 и образцы ниже) и располагаются в алфавитном порядке. Заголовки русскоязычных работ приводятся на английском языке; для журналов и сборников, в которых размещены цитируемые работы, указывается параллельное английское наименование (при его наличии) либо русскоязычное наименование приводится в латинской транслитерации (вариант BSI) с переводом на английский язык. Прочие элементы библиографической записи приводятся на английском языке (русскоязычное название издательства транслитерируется). При наличии переводной версии источника в References желательным указать ее. Библиографические описания прочих работ приводятся на языке оригинала.

Для каждого источника обязательно указание DOI при его наличии; если приводится адрес интернет-страницы источника (URL), нужно указать дату обращения к ней.

## ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ 1-Й СТРАНИЦЫ

УДК 577.125.8

### **СОДЕРЖАНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ОКСИДА АЗОТА В КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ И ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ, ИМЕЮЩИХ РАЗНЫЕ АЛЛЕЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ ГЕНОВ ACE (RS4340) И CYP11B2 (RS1799998)**

**Л. В. Топчиева<sup>1\*</sup>, О. В. Балан<sup>1</sup>, В. А. Корнева<sup>2</sup>, И. Е. Малышева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910), \*topchieva@ya.ru

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет (просп. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910)

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: артериальная гипертензия; оксид азота; индуцибельная синтаза оксида азота; ангиотензинпревращающий фермент; инсерционно-делеционный полиморфизм гена ACE; альдостеронсинтаза; ген CYP11B2

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0077).

### **L. V. Topchieva<sup>1\*</sup>, O. V. Balan<sup>1</sup>, V. A. Korneva<sup>2</sup>, I. E. Malysheva<sup>1</sup>. THE NITRIC OXIDE LEVEL IN THE BLOOD OF HEALTHY PEOPLE AND PATIENTS WITH ARTERIAL HYPERTENSION CARRYING DIFFERENT ALLELE VARIANTS OF THE ACE (RS4340) AND CYP11B2 (RS1799998) GENES**

<sup>1</sup>Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*topchieva@ya.ru

<sup>2</sup>Petrozavodsk State University (33 Lenin Ave., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia)

Аннотация на английском языке

Keywords: arterial hypertension; nitric oxide; inducible nitric oxide synthase; angiotensin-converting enzyme; insertion-deletion polymorphism of ACE genes; aldosterone synthase; CYP11B2 gene

Funding. The study was funded from the Russian federal budget through state assignment to KarRC RAS (0218-2019-0077).



## 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 Dulldurga:

а – 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 ССЫЛОК В СПИСКАХ ЛИТЕРАТУРЫ

Ссылки на книги

### Литература:

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.

Красная книга Республики Карелия / Ред. О. Л. Кузнецов. Белгород: Константа, 2020. 448 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. Optical rotatory dispersion and circular dichroism in Organic Chemistry. Moscow: Mir Publ.; 1970. P. 348–350. (In Russ.)

Patrushev L. I. Gene expression. Moscow: Nauka Publ.; 2000. 830 p. (In Russ.)

Kuznetsov O. L. (ed.). Red Data Book of the Republic of Karelia. Belgorod: Konstanta Publ.; 2020. 448 p. (In Russ.)

Knorre D. G., Laric O. L. Theory and practice in affinity techniques. N. Y., San Francisco: Acad. Press; 1978. P. 169–188.

Ссылки на статьи

### Литература:

Викторов Г. А. Межвидовая конкуренция и сосуществование экологических гомологов у паразитических перепончатокрылых // Журнал общей биологии. 1970. Т. 31, № 2. С. 247–255.

Колосова Ю. С., Подболоцкая М. В. Популяционная динамика шмелей (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) на Соловецком архипелаге: итоги 10-летнего мониторинга // Труды Русского энтомологического общества. 2010. Т. 81, № 2. С. 135–141.

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.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella* Sabrosky (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia // Entomologica Fennica. 2009. Vol. 20, no. 1. P. 4–8. doi: 10.33338/ef.84453

#### References:

Viktorov G. A. Interspecific competition and coexistence ecological homologues in parasitic Hymenoptera. *Biology Bulletin Reviews*. 1970;31(2):247–255. (In Russ.)

Kolosova Yu. S., Podbolotskaya M. V. Population dynamics of bumblebees (Hymenoptera, Apidae, *Bombus* Latr.) in the Solovetsky archipelago: results of 10-year monitoring. *Trudy Russ. entomol. obshchestva = Proceed. Russ. Entomol. Soc.* 2010;81(2):135–141. (In Russ.)

Grove D. J., Loisesides L., Nott J. Satiation amount, frequency of feeding and emptying rate in *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Biol.* 1978;12(4):507–516.

Nartshuk E. P., Przhiboro A. A. A new species of *Incertella* Sabrosky (Diptera: Chloropidae) from the White Sea coast, Russian Karelia. *Entomologica Fennica*. 2009;20(1):4–8. doi: 10.33338/ef.84453

Ссылки на материалы конференций

#### Литература:

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. 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. (In Russ.)

Ссылки на диссертации или авторефераты диссертаций

#### Литература:

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. ... д-ра хим. наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.

#### References:

Sheftel' B. I. Ecological aspects of spatio-temporal interspecies relations of shrews of Middle Siberia: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Moscow; 1985. 23 p. (In Russ.)

Lozovik P. A. 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. (In Russ.)

Ссылки на патенты

#### Литература:

Еськов Д. Н., Серегин А. Г. Оптико-электронный аппарат / Патент России № 2122745. 1998. Бюл. № 33.

#### References:

Es'kov D. N., Seregin A. G. Optoelectronic apparatus. Russian patent No. 2122745. 1998. Bull. No. 33. (In Russ.)

Ссылки на архивные материалы

#### Литература:

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. Brief course on bibliography: the materials and notes, Febr. 26 – March 10, 1924. *OR RNB*. F. 41. St. un. 45. L. 1–10. (In Russ.)

## Ссылки на интернет-ресурсы

### **Литература:**

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: 25.11.2006).

### **References:**

Parinov S. I., Lyapunov V. M., Puzyrev R. L. Socionet as a platform for development of scientific information resources and online services. *Elektron. b-ki = Digital library*. 2003;6(1). (In Russ.) URL: <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2003/part1/PLP/> (accessed: 25.11.2006).

TABLE OF CONTENTS

ORIGINAL ARTICLES

A. N. Korolev. THE HUMAN-BEAR CONFLICT IN THE KOMI REPUBLIC: MANIFESTATION DYNAMICS AND REGIONAL FEATURES . . . . .	5
A. V. Sabylina, T. A. Efremova. CHANGES IN WATER CHEMICAL COMPOSITION IN LAKE VEDLOZERO AND ONE OF ITS BAYS AS A RESULT OF ANTHROPOGENIC EUTROPHICATION . . . . .	20
Yu. V. Simonova, A. V. Rusakov, N. A. Lemeshko. SALINE SOILS OF THE ROSTOV LOWLAND (YAROSLAVL VOLGA REGION): CURRENT STATE, HYDROLOGICAL ASPECTS OF SALINIZATION AND EVOLUTION TRENDS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE . . . . .	31
R. U. Vysotskaya, I. N. Bakhmet, S. A. Murzina. THE ACTIVITY OF LYSOSOMAL ENZYMES IN ORGANS OF THE WHITE SEA MUSSEL <i>MYTILUS EDULIS</i> L. UNDER CRUDE OIL IMPACT IN DIFFERENT SALINITY CONDITIONS . . . . .	50
Yu. Yu. Forina. ZOOPLANKTON OF SOME LAKES OF THE NOSOVAYA (YURATSKAYA) RIVER CATCHMENT (YENISEI RIVER CATCHMENT) . . . . .	65
A. D. Bykov, I. A. Tyrkin, V. V. Obrazov, R. A. Bondar. AN ASSESSMENT OF THE STATE OF THE FISH FAUNA IN THE LOWER COURSE OF RIVERS AND FLOODPLAIN WATER BODIES IN LAKE ILMEN CATCHMENT BASED ON DATA FROM SURVEYS WITH FINE-MESH FISHING GEAR IN 2020–2021 . . . . .	73
A. P. Stolyarov. FEATURES OF THE SPATIAL STRUCTURE OF THE MACRO- AND MEIOBENTHOS COMMUNITY OF THE LAGOON ECOSYSTEM OF KISLAYA BAY HEAD (GULF OF KANDALAKSHA, WHITE SEA) . . . . .	88
O. L. Kuznetsov, S. A. Kutenkov, L. V. Kantserova, M. A. Boychuk. SLOPING FENS OF THE WEST-KARELIAN UPLAND: VEGETATION AND DYNAMICS . . . . .	101
P. A. Ignashov, O. L. Kuznetsov. USING ELLENBERG’S INDICATOR VALUES IN THE ANALYSIS OF THE FLORA AND VEGETATION OF SMALL MIRES IN KARELIA . . . . .	114
RESEARCH METHODS	
A. V. Korosov, S. V. Bugmyrin, T. L. Burdova, M. L. Kireeva, S. A. Lapina. INFORMATION SYSTEM FOR STUDYING VERTEBRATES: AN EXAMPLE OF DEVELOPMENT AND APPLICATION . . . . .	123
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS . . . . .	134

Научный журнал

**Труды Карельского научного центра  
Российской академии наук**  
№ 8, 2022

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Печатается по решению Ученого совета  
Федерального исследовательского центра  
«Карельский научный центр Российской академии наук»*

Выходит 8 раз в год

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций<sup>12</sup>  
Регистрационная запись ПИ № ФС 77-72429 от 28.02.2018 г.

Редактор А. И. Мокеева  
Компьютерная верстка Л. Э. Бюркланд

Подписано в печать 20.12.2022. Дата выхода 30.12.2022. Формат 60x84<sup>1/8</sup>.  
Печать офсетная. Уч.-изд. л. 16,5. Усл. печ. л. 16,4.  
Тираж 100 экз. Заказ 744. 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