

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ИБВВ РАН



Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

ВЫПУСК 98(101)

2022

АПРЕЛЬ – ИЮЛЬ

Выходит 4 раза в год

п. Борок

2022

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



IBIW RAS



Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS

ISSUE 98(101)

2022

APRIL – JULY

The journal is published quarterly

Borok

2022

УДК 574(28)

ББК 28.081

T78

Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. – Борок : ИБВВ РАН – 2022. – Вып. 98 (101) – 68 с.

Редакционная коллегия:

С. А. Поддубный (гл. редактор), д.г.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. В. Крылов (зам. гл. редактора), д.б.н., проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. А. Бобров, к.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Б. К. Габриелян, д.б.н., проф., НАН РА НЦ ЗГЭ, Ереван, Армения

Ю. В. Герасимов, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

А. Н. Дзюбан, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Хай Доан Нё, д.ф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам

В. Т. Комов, д.б.н., проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия

В. И. Лазарева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Н. М. Минеева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Лам Нгуен Нгок, д.ф., проф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам

К. Робинсон, д.ф., EAWAG, Цюрих, Швейцария

В. П. Семенченко, д.б.н., чл.-кор. ННЦ НАН по биоресурсам, Минск, Беларусь

И. Л. Голованова, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия

Ю. С. Даценко, д.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

М. М. Трофимчук, к.б.н., Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия

Ответственный редактор: **А. В. Крылов**

Ответственный секретарь **А. А. Сажнева**

ISSN 0320-3557 Print

ISSN 2712-8377 Online

Учредитель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Издатель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Адрес редакции: 152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н,
ИБВВ РАН
тел./факс (48547) 2-48-09; e-mail: trud@ibiw.ru

© ИБВВ РАН, 2022 г.

Editorial board:

S. A. Poddubny (editor), Dr. of geogr., IBIW RAS, Borok, Russia
A. V. Krylov (deputy editor), Dr. of biol., prof., IBIW RAS, Borok, Russia
A. A. Bobrov, PhD., IBIW RAS, Borok, Russia
Hai Doan Nhu, PhD., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
A. N. Dzuban, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
B. K. Gabrielyan, Dr. of biol., prof., SC ZHE NAS RA, Yerevan, Armenia
Yu. V. Gerasimov, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
V. T. Komov, Dr. of biol., prof., IBIW RAS, Borok, Russia

V. I. Lazareva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
N. M. Mineeva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Lam Nguyen Ngoc, PhD., prof., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
C. Robinson, PhD., EAWAG, Zurich, Switzerland
V. P. Semchenko, Dr. of biol., corr. member NASB, Minsk, Belar
I. L. Golovanova, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Y. S. Datsenko, Dr. of geogr., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
M. M. Trofimchuk, Ph.D., Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

Editor-in-chief of the volume: **A. V. Krylov**

Coordinating editor: **A. A. Sazhneva**

ISSN 0320-3557 Print
ISSN 2712-8377 Online

Founder (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Publisher (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Editorial address: 152742. Borok, Yaroslavl region, Nekouz district,
IBIW RAS
tel./fax (48547) 2-48-09; *e-mail:* trud@ibiw.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

А. А. Лютиков, А. Е. Королев, А. К. Шумилина, М. М. Вылка, А. Г. Селюков, Е. И. Курдина, Ю. А. Баскакова, Р. В. Артемов

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОДОВИКОВ И ДВУХГОДОВИКОВ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ПОСЛЕ ЗИМОВКИ В САДКАХ И ПРУДАХ 7

Водная токсикология

Р. Э. Авалян, А. Л. Атоянц, Л. Р. Гамбарян, Э. А. Агаджанян, Б. К. Габриелян, Р. М. Арутюнян

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ОЗЕРА СЕВАН В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ 26

Водная флора и фауна

A. S. Sazhnev, A. A. Prokin

NEW DATA ON DYTISCIDAE, HYDROPHILIDAE, HYDRAENIDAE, DRYOPIDAE AND HETEROCERIDAE (COLEOPTERA) OF NORTH OSSETIA 38

Е. В. Медведева, Н. Г. Отченаш, И. Ю. Македонская

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ВЫЧЕГДА И ЕЕ ПРИТОКОВ 46

С. И. Генкал, Т. В. Еремкина

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕДКИХ ДЛЯ ФЛОРЫ РОССИИ ВИДОВ РОДА *ACHNANTHIDIUM* (BACILLARIOPHYTA) 56

А. Н. Краснова, А. Н. Ефремов

НОВЫЙ ВИД РОГОЗА (*ТУРНА* L., ТУРНАСЕАЕ) С ЮЖНОГО САХАЛИНА 62

CONTENTS

Ecological Physiology and Biochemistry of Hydrobionts

A. A. Lyutikov, A. E. Korolev, A. K. Shumilina, M. M. Vylka, A. G. Selyukov, E. I. Kurdina, Yu. A. Baskakova, R. V. Artemov

PHYSIOLOGICAL STATE OF ONE-YEAR-OLD AND TWO-YEAR-OLD PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AFTER WINTERING IN CAGES AND PONDS 7

Aquatic Toxicology

R. E. Avalyan, A. L. Atoyants, L. R. Hambaryan, E. A. Aghajanyan, B. K. Gabrielyan, R. M. Aroutiounian

ASSESSMENT OF THE STATE OF LAKE SEVAN WATER DURING THE SUMMER USING MODEL TEST-OBJECTS 26

Aquatic Flora and Fauna

A. S. Sazhnev, A. A. Prokin

NEW DATA ON DYTISCIDAE, HYDROPHILIDAE, HYDRAENIDAE, DRYOPIDAE AND HETEROCERIDAE (COLEOPTERA) OF NORTH OSSETIA 38

E. V. Medvedeva, N. G. Otchenash, I. Yu. Makedonskaya

CURRENT STATE OF PLANKTON COMMUNITIES OF THE LOWER VYCHEGDA RIVER AND ITS TRIBUTARIES 46

S. I. Genkal, T. V. Eremkina

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF SPECIES OF THE GENUS *ACHNANTHIDIUM* (BACILLARIOPHYTA) RARE FOR THE FLORA OF RUSSIA 56

A. N. Krasnova, A. N. Efremov

A NEW SPECIES OF CAT'S-TAIL (*TYPHA* L., TYPHACEAE) FROM SOUTH SAKHALIN 62

Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

УДК 639.3.07

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОДОВИКОВ И ДВУХГОДОВИКОВ СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) ПОСЛЕ ЗИМОВКИ В САДКАХ И ПРУДАХ

А. А. Лютиков¹, А. Е. Королев¹, А. К. Шумилина¹, М. М. Вылка¹, А. Г. Селюков²,
Е. И. Курдина², Ю. А. Баскакова³, Р. В. Артемов³

Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ "Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии" ("ГосНИОРХ" им. Л. С. Берга),
199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26, e-mail: tokmo@mail.ru

² Тюменский государственный университет – ТюмГУ,

625003, г. Тюмень ул. Володарского, 6, e-mail: ags-bios@yandex.ru

³ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ФГБНУ "ВНИРО"),

107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, 17, e-mail: protein@vniro.ru

Поступила в редакцию 25.03.2022

Исследования физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах показали существенные различия в размерно-массовых, химических, гематологических и гистофизиологических параметрах рыб. Для судаков обоих возрастов достоверные различия наблюдались в виде более высоких значений у заводских рыб индекса печени (1.63 против 1.33% у годовиков и 2.79 против 1.16% у двухгодовиков), полостного жира (0.96 против 0.39% у годовиков и 7.88 против 0.44% у двухгодовиков) и витамина С (76.5 против 18.9% у годовиков и 69.9 против 12.3% у двухгодовиков), а также в смещении баланса жирнокислотного статуса липидов тела в сторону накопления мононенасыщенных жирных кислот – МНЖК (39.61 против 27.47% суммы ЖК у годовиков и 54.34 против 39.90% суммы ЖК у двухгодовиков) и снижении долей физиологически активных кислот ряда n-3 (21.60 против 22.53% суммы ЖК у годовиков и 12.19 против 17.70% суммы ЖК у двухгодовиков), и достоверном снижении гемоглобина (65.2 против 76.5 г/л) и среднего содержания гемоглобина в эритроците – СГЭ (28.4 против 33.9 пиктограмм, пг) у годовиков, и тенденции на снижение этих показателей у двухгодовиков (68.7 против 73.5 г/л гемоглобина и 31.7 против 35.6 пг соответственно). Более выраженные различия исследованных параметров свойственны судакам старшего возраста, содержащихся в заводских условиях, относительно рыб из прудов. Двухгодовики судака, выращенные в садках рыбоводного хозяйства, характеризуются достоверно большими длиной (21.10 против 18.78 см) и массой тела (89.50 против 68.97 г), высоким содержанием липидов тела (8.75 против 2.05%), сухого вещества (30.8 против 23.4%) и безазотистых экстрактивных веществ – БЭВ (4.11 против 1.55%). Кроме того, двухгодовики (самки) из заводских условий имели более развитые гонады при схожем гонадосоматическом индексе с судаками из прудов (0.20 и 0.23 соответственно) – в яичниках заводских рыб наблюдали активное формирование резервного фонда половых клеток и присутствие ооцитов различных размерных групп. Определенные различия у разновозрастных судаков после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах связаны с условиями содержания и кормления рыб.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, ремонтно-маточное стадо, индустриальная аквакультура, искусственные корма, пруды, физиологическое состояние, морфофизиология.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-7-25

ВВЕДЕНИЕ

Судак *Sander lucioperca* – ценный промысловый вид, естественный ареал которого ранее охватывал все крупные речные и озерные водоемы Балтийского, Черного, Каспийского и Аральского морей. Акклиматизация и хозяйственная деятельность человека на водных объектах значительно расширили ареал судака в России от Белого моря на западе до бассейна р. Амур на востоке. Вселение в Новосибирское водохранилище позволило судаку прижиться в р. Обь и спуститься до ее низовий – Обской губы, т.е. за Полярный круг [Атлас..., 2002 (Atlas..., 2002)].

В связи с ухудшением экологического состояния естественных водоемов, а также с увеличением промысловой и браконьерской нагрузки наблюдается повсеместное сокращение численности судака [Кудерский, 2000 (Kuderskiy, 2000); Шурухин и др., 2016 (Shurukhin et al., 2016); Горбенко и др., 2019 (Gorbenko et al., 2019); Ruuhijärvi et al., 1996]. Поддержание популяции судака на стабильном уровне за счет естественного воспроизводства в некоторых водоемах уже становится невозможным, что указывает на необходимость использования методов искусственного восполнения природных популяций. Наиболее перспективными

из указанных методов выступают индустриальные технологии с созданием, содержанием и эксплуатацией в заводских условиях маточных стад, от которых можно получать икру, личинок или сеголеток в необходимых для воспроизводства количествах.

Известно, что искусственно выращенные рыбы могут сильно отличаться от рыб, обитающих в естественных условиях или приближенных к ним, например, в прудах, по своим морфофизиологическим [Arechavala-Lopez et al., 2011; Hard et al., 2000; Lyutikov, 2022], химическим [Ackman, Takeuchi, 1986; Alasalvar et al., 2002; Yildiz et al., 2008], гематологическим

[Вылка, 2021 (Vylka, 2021); Fazio et al., 2013; Parrino et al., 2018] и другим параметрам. Подобные различия определяют необходимость в исследовании качественных характеристик искусственно созданных маточных стад и их сравнение с таковыми у диких рыб, параметры которых могут быть использованы как ориентир для объективной оценки физиологического состояния культивируемых объектов.

В настоящей работе приведены результаты исследований физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судаков после их зимнего содержания в садках рыбоводного хозяйства и прудах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для выполнения исследований послужили младшие ремонтные группы судака возрастом 1 и 2 года. Одна группа рыб была выращена последовательно в бассейнах и садках рыбоводного хозяйства “Форват” (оз. Суходольское, Приозерский р-н, Ленинградская обл.) с использованием искусственных кормов при естественном температурном режиме воды, другая – в прудах крестьянского прудового рыбоводного питомника К.А. Аверченкова (Приозерский р-н, Ленинградская обл.) на естественном корме.

До зимовки судаков младшего возраста выращивали в индустриальных условиях на искусственных кормах Biomar Inicio Plus

(Дания) с содержанием белка и жира 52–56 и 18–24% соответственно. Указанные показатели варьировали в зависимости от фракции корма, которую увеличивали по мере роста рыб. Старшая возрастная группа получала искусственные экструдированные продукционные корма Raisio Royal Hercules (Финляндия), в которых белок составлял 46–48%, жир – 24–26% (по данным фирм-изготовителей). Основными компонентами искусственных кормов являлись рыбная мука, соевый белок, рыбий жир, рапсовое масло и др. Липидный состав кормов (основные жирные кислоты и их группы кислот) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Жирнокислотный состав кормов, используемых в эксперименте, % от суммы ЖК

Table 1. Fatty acid composition of the feeds used in the experiment, % of the amount of fatty acids

Жирные кислоты / Fatty acid	BioMar	Raisio
НЖК	30.95	21.96
МНЖК	29.47	44.10
18:3 n-3 α-линоленовая	1.41	4.54
20:5 n-3 эйкозапентаеновая	8.06	5.74
22:6 n-3 докозагексаеновая	11.05	7.22
n-3 всего	24.01	17.14
18:2 n-6 линолевая	6.41	10.41
20:4 n-6 арахидоновая	1.26	0.31
n-6 всего	11.86	14.81
Σ ПНЖК	35.97	31.95

В заводских условиях сеголеток в период зимовки содержали в садках площадью 25 м² с глубиной погружения 4 м и ячейки дели 8 мм, двухлеток – в аналогичных садках с ячейки дели 12 мм. Учитывая тот факт, что в природе судак является придонным хищником и при содержании в садке держится и питается в нижней его части, фактическую плотность посадки судака целесообразно рассчитывать по придонному слою садка. Для сеголеток плотность посадки в период зимовки составила 29 экз./м², для двухлеток – 24 экз./м².

Продолжительность зимнего содержания младших ремонтных групп судака составляла около 165 сут – с начала декабря по середину апреля (отбор проб проводили 30.03.2021 г.). Рыбу в этот период не кормили. Температура воды в начале периода составляла около 1°C, в подледный период (январь–март) – 0.2°C. Прогрев воды начинался в начале апреля и к середине месяца температура достигала ≥3°C.

Для прудовой зимовки судака использовали пруды площадью от 0.5 до 1.0 га со средней глубиной 1.2 м (максимальная – 2.4 м). Температурный режим зимой был схож с тако-

вым в озере, где располагались садки, в подледный период температура воды составляла 0.4°C. На момент отлова рыб из прудов (9.05.2021 г.) их желудки и кишечника были фактически пустыми, в кишечниках присутствовала желто-зеленая слизь.

Показатели качества воды в озере и прудах в период зимовки рыб соответствовали рыбохозяйственным нормативам (табл. 2).

Таблица 2. Гидрохимические показатели в период зимовки судака в садках и прудах (14.02.2021 г.)

Table 2. Hydrochemical parameters during wintering of pikeperch in cages and ponds (14.02.2021)

Показатель Indicator	Садки Cages	Пруды Ponds
Температура на момент отбора пробы, °C	0.2	0.4
Водородный показатель, ед. pH	6.7	6.8
O ₂ , мг/дм ³	10.8	11.0
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	1.1	2.7
БПК ₂₀ , мг O ₂ /дм ³	2.1	2.2
CO ₂ , мг/дм ³	3.2	4.3
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³	7.6	4.9
Бихроматная окисляемость, мгО/дм ³	21.0	15.6
Аммонийный азот, мгN/дм ³	0.10	0.05
Нитриты, мгN/дм ³	0.004	0.002
Нитраты, мгNO ₃ /дм ³	1.20	1.07
Железо общее, мгFe/дм ³	0.15	0.13
Фосфаты, мгP/дм ³	0.003	0.003
Кальций, мг/дм ³	3.5	4.9
Магний, мг/дм ³	2.4	2.7
Гидрокарбонатный ион, мг HCO ₃ ⁻ /дм ³	11.2	20.4
Сульфаты, мг/дм ³	10.6	3.3
Хлориды, мг/дм ³	11.5	7.6
Натрий + калий, мг/дм ³	8.9	3.8
Сумма ионов, мг/дм ³	49.6	44.0
Жесткость, ммоль/дм ³	0.368	0.469
Щелочность, ммоль/дм ³	0.184	0.334
Взвешенные вещества, мг/дм ³	0.4	1.2
Цветность, град.	46	25

Аналитическую работу проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ “ВНИРО” (ГосНИОРХ им. Л. С. Берга), жирнокислотный состав тела рыб определяли в отделе кормов и кормовых компонентов ФГБНУ “ВНИРО”

(Москва), гистологические исследования – на кафедре зоологии и эволюционной экологии животных Тюменского государственного университета. Количество исследованных проб приведено в табл. 3.

Таблица 3. Численность выборок судака каждой возрастной группы для разных видов анализа

Table 3. The number of samples of pikeperch of each age group for different types of analysis

Вид анализа Type of analyses	Кол-во, экз. Quantity, ind.
Морфометрический, морфофизиологический	30
Биохимический	10
Жирнокислотный состав	5
Гистофизиологический	5
Гематологический	10

Морфометрический и морфофизиологический анализ проводили согласно общепринятой схеме измерений окуневых рыб [Правдин, 1966 (Pravdin, 1966)]: измеряли длину до конца чешуйного покрова (l), наибольшую высоту тела (h), определяли массу рыбы и внутренних органов – печени, гонад (для двухгодо-

виков) и массу полостного жира. Коэффициент упитанности рассчитывали как отношение массы к длине тела рыбы до конца чешуйного покрова, возведенной в куб. Индексы внутренних органов – как процентное отношение их массы к массе рыбы.

Методами химического анализа в рыбах определяли относительное содержание влаги, сухого вещества, липидов, белка, минеральных веществ (зола) и безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ). Для определения данных показателей из нескольких образцов рыб готовили интегральную пробу. Содержание липидов определяли по методу Фолча [Folch et al., 1957], содержание белка – методом Кьельдаля, минеральные вещества получали методом сжигания пробы в муфельной печи до белого цвета зола при температуре 550°C, содержание витамина С – модифицированным методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реактивом Тильманса [Князева, 1979 (Knyazeva, 1979)]. Количество БЭВ определяли расчетным путем.

Анализ жирнокислотного состава тела судаков проводили методом газожидкостной хроматографии. Интегральную пробу гомогенизировали с последующим экстрагированием липидов по методу Фолча. Для метилирования жирных кислот использовали хлористый ацетил в метаноле концентрацией 10%. Хроматографическое разделение проводили на хроматографе “Кристалл 5000.2” (“Хроматэк”) с ПИД детектором на капиллярной колонке CR-FAME 100 м × 0.25 мм × 0.2 мкм (“Хроматэк”). Условия разделения: газ-носитель водород, расход 1 мл/мин, температура детектора – 250°C, температура инжектора – 250°C, программируемый температурный режим термостата колонки: (120; 0)(3; 180; 15)(5; 220; 22) °C. Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили сравнением со стандартной смесью (Supelco 37 component FAME MIX, каталожный номер Sigma Aldrich CRM47885). Для обработки результатов измерений применяли метод внутренней нормализации.

Гистофизиологический анализ половых желез годовалых и двухгодовалых особей судака проводили по стандартным гистологическим методикам [Лилли, 1969 (Lilli, 1969); Микодина и др., 2009 (Mikodina et al., 2009)]. Зафиксированные участки гонад проводили через спирты возрастающей концентрации, хлороформ; инфильтрация парафином проводила при 37°C в течение суток. Заливку в парафин осуществляли на станции ЕС 350 “Microm”. Парафиновые срезы изготавливали на автоматизированном ротационном микро-

томе HM 355S “Microm”. Полученные серии срезов толщиной 5 мкм окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну и после дегидратации заключали под покровное стекло в среду “Витрогель”. Полученные таким образом гистологические препараты анализировали на микроскопе AxioImager A1 “Zeiss” при увеличении 40×, 100×, 200×, 400× и 1000× с использованием лицензионного программного обеспечения AxioVision 4.7.1. “Zeiss”. Микрофотографии получали с помощью камеры AxioCamMRc5 “Zeiss”.

Для исследования гематологических показателей использовали методики, описанные в “Лабораторном практикуме по физиологии рыб” [Голодец, 1955 (Golodets, 1955)] и “Методических указаниях по проведению гематологического обследования рыб от 02.02.1999 №13-4-2/1487” [Metodicheskie ukazaniya..., 1999]. Кровь отбирали из хвостовой вены.

Гемоглобин определяли методом Сали, подсчет эритроцитов проводили в камере Горяева. Мазки крови фиксировали и окрашивали красителем-фиксатором Май-Грюнвальда и раствором красителя по Романовскому-Гимза в день забора крови по методу Паппенгейма. Среднее содержания гемоглобина в эритроците (СГЭ) рассчитывали через отношение содержания гемоглобина к количеству эритроцитов в пиктограммах (пг). Лейкоциты определяли косвенным методом при подсчете 1000 эритроцитов в 1 мкл крови по формуле $X = (A \cdot B) / 1000$, где X – общее количество лейкоцитов в 1 мкл крови, A – число эритроцитов в 1 мкл крови, определенное в камере Горяева, B – число лейкоцитов, обнаруженных при подсчете 1000 эритроцитов на мазке крови.

Процент содержания незрелых эритроцитов определен подсчетом 200 эритроцитов разных стадий зрелости на одном мазке крови. Лейкоцитарная формула выражена в процентном отношении голаядерных и больших лимфоцитов, нейтрофилов, моноцитов при подсчете 200 лейкоцитов на каждом мазке, классификация клеток основана на сравнительной морфологии и классификации форменных элементов крови рыб Ивановой [1983 (Ivanova, 1983)].

Данные представлены в виде средних значений и их ошибок ($M \pm m$). Достоверность различий оценивали с помощью t -критерия Стьюдента при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Биологическая характеристика ремонтных групп судака после зимовки в садках и прудах представлена в таблице 4. Размерно-весовые показатели годовиков имеют близкие

значения. Достоверная разница отмечена для показателей индексов печени (1.63 против 1.33%) и полостного жира (0.96 против 0.39%),

которые больше у судаков, содержащихся в садках.

Сравнение морфофизиологических показателей двухгодовиков из садков и прудов указывает на повышение темпа роста заводских рыб относительно прудовых, что выражается в увеличении показателей средней массы (89.50 против 68.97 г) и длины тела судаков (21.10 против 18.78 см соответственно). Индексы печени и полостного жира у рыб из садков в 2.4 и 18 раз, также, выше, чем у содержащихся в прудах – 2.79 против 1.16% и 7.88 против 0.44% соответственно.

Таблица 4. Биологические показатели ремонтных групп судака в возрасте 1 и 2 года в конце зимнего содержания в садках и прудах

Table 4. Biological parameters of pikeperch broodstocks at the age of 1 and 2 years at the end of winter keeping in cages and ponds

Показатель Indicator	Садки Cages	Cv, %	Пруды Ponds	Cv, %
<i>Годовики</i>				
Масса, г	9.95±0.66 ^a	14.8	10.60±1.16 ^a	33.3
Длина тела (L), см	10.38±0.19 ^a	4.1	10.55±0.39 ^a	7.4
Высота тела (h), см	1.92±0.06 ^a	6.8	1.80±0.07 ^a	7.9
Коэффициент упитанности (Fu)	0.88±0.02 ^a	5.5	0.88±0.04 ^a	9.3
Индекс печени, %	1.63±0.02 ^a	2.5	1.33±0.03 ^b	4.2
Индекс полостного жира, %	0.96±0.11 ^a	26.1	0.39±0.16 ^b	82.3
<i>Двухгодовики</i>				
Масса, г	89.50±3.50 ^a	6.8	68.97±5.71 ^b	16.6
Длина тела (L), см	21.10±0.23 ^a	1.9	18.78±0.49 ^b	5.2
Высота тела (h), см	4.30±0.06 ^a	2.3	3.55±0.12 ^b	6.7
Коэффициент упитанности (Fu)	0.95±0.02 ^a	3.3	1.03±0.02 ^b	3.8
Индекс печени, %	2.79±0.25 ^a	15.4	1.16±0.03 ^b	5.7
Индекс полостного жира, %	7.88±0.56 ^a	12.3	0.44±0.04 ^b	20.1
Гонадосоматический индекс, %	0.20±0.03 ^a	28.2	0.23±0.03 ^a	30.0

Примечание. Здесь и далее – Cv – коэффициент вариации признака; значения с различными буквенными индексами имеют достоверные различия при уровне значимости $p \leq 0.05$.

Note. Here and below, Cv is the trait coefficient of variation; values with different letter indexes have significant differences at the significance level $p \leq 0.05$.

Химический состав тела годовиков судака из садков и прудов после зимовки достаточно однородный и достоверно отличается только содержанием витамина С, которого в теле рыб из садков в 4 раза больше, чем у прудовых – 76.5 и 18.9 мкг/г соответственно (табл. 5).

Различия химического состава двухгодовиков более значительны и выражаются в достоверно большем содержании в теле судаков, зимовавших в садках, по сравнению с рыбами из прудов, сухого вещества (30.8 против 23.4% соответственно), жира (8.75 против 2.05%), БЭВ (4.1 против 1.6%) и витамина С (69.9 против 12.3 мкг/г).

Жирнокислотный состав липидов тела судака из заводских условий и прудов имел

Коэффициент упитанности годовиков судака из прудов сопоставим с таковым у заводских рыб (0.88), и достоверно больше у двухгодовиков (0.95 и 1.03).

Увеличенная печень и наличие большого количества висцерального жира у выращенных в садках рыб является признаком ожирения, тем не менее, схожий с прудовыми двухлетками показатель гонадосоматического индекса (0.20 и 0.23% соответственно) косвенно указывает на нормальный ход развития гонад у судака из аквакультуры.

определенные отличия вне зависимости от возраста рыб. Судаки из садков по сравнению с прудовыми рыбами характеризовались меньшим содержанием насыщенных жирных кислот (НЖК), занимающих наименьшую долю в составе общих липидов – у годовиков 27.33 против 34.18%, у двухгодовиков 17.11 против 27.76% соответственно, и большей долей мононенасыщенных (МНЖК), выступающих доминирующей группой ЖК – 39.61 против 27.47% у годовиков и 54.34 против 39.90% суммы ЖК у двухгодовиков соответственно (табл. 6).

Среди НЖК липидов судака из разных условий содержания преобладала пальмитиновая кислота (16:0) – 18.61% у годовиков и 12.87% у двухгодовиков из садков соответ-

венно, и 18.82 и 17.43% суммы ЖК у годовиков и двухгодовиков из прудов. У МНЖК преобладала олеиновая кислота (18:1n-9), которой было в 1.6–1.7 раза больше в липидах тела рыб аквакультурного происхождения – у годовиков 26.43%, у двухгодовиков 46.31% соответственно, против 15.59 и 28.39% суммы ЖК у го-

довиков и двухгодовиков из прудов. Также существенную долю в МНЖК занимала пальмитолеиновая кислота (16:1n-7), имеющая близкие значения у заводских и прудовых годовиков – 9.68 и 8.58% соответственно, и двухгодовиков – 4.76 и 6.85% суммы ЖК.

Таблица 5. Химический состав тела судаков из разновозрастных ремонтных групп в конце зимнего содержания в садках и прудах (зола, белок и липиды были определены в сыром веществе)

Table 5. Chemical composition of pikeperch body from broodstocks of different ages at the end of winter keeping in cages and ponds (ash, protein and lipids were determined in the raw material)

Показатель / Indicator	Садки / Cages	Сv, %	Пруды / Ponds	Сv, %
<i>Годовики</i>				
Влага, %	74.8±0.12 ^a	0.3	74.4±0.6 ^a	1.4
Сухое вещество, %	25.2±0.12 ^a	0.8	25.6±0.62 ^a	4.2
Липиды, %	2.57±0.48 ^a	32.1	2.40±0.53 ^a	38.2
Белок, %	16.66±0.41 ^a	4.3	16.65±0.39 ^a	4.0
Зола, %	4.35±0.21 ^a	8.3	4.65±0.01 ^a	0.4
БЭВ	1.62±0.15 ^a	16.4	1.86±0.10 ^a	6.4
Витамин С, мкг/г	76.5±4.11 ^a	9.3	18.9±1.02 ^b	9.4
<i>Двухгодовики</i>				
Влага, %	69.2±1.0 ^a	2.5	76.6±0.3 ^b	0.8
Сухое вещество, %	30.8±0.99 ^a	5.6	23.4±0.30 ^b	2.6
Липиды, %	8.75±0.79 ^a	15.6	2.05±0.06 ^b	6.2
Белок, %	15.07±0.51 ^a	5.8	16.61±0.27 ^a	3.3
Зола, %	2.86±0.31 ^a	18.6	3.16±0.29 ^a	18.3
БЭВ	4.11±0.5 ^a	22.1	1.55±0.3 ^b	35.1
Витамин С, мкг/г	69.9±1.45 ^a	3.6	12.3±0.67 ^b	11.0

Таблица 6. Жирнокислотный состав липидов тела судака разного возраста после зимовки в прудах и садках, % суммы ЖК

Table 6. Fatty acid composition of lipids in the body of pikeperch of different ages after wintering in ponds and cages, % of the total fatty acids

Жирные кислоты Fatty acids		Годовики / Yearlings		Двухгодовики / Two year olds	
		Садки Cages	Пруд Ponds	Садки Ponds	Пруд Ponds
НЖК	13:0	–	0.34	–	0.13
	14:0	5.57	2.80	2.27	2.56
	15:0	0.44	5.57	0.21	1.43
	16:0	18.61	18.82	12.87	17.43
	17:0	–	1.60	0.04	1.08
	18:0	2.23	4.24	1.25	3.61
	20:0	–	–	0.12	0.23
	21:0	0.13	–	0.23	0.22
	24:0	0.35	0.81	0.12	1.07
	Σ	27.33	34.18	17.11	27.76
МНЖК	14:1	–	0.55	0.07	0.58
	16:1n-7	9.68	8.58	4.76	6.85
	17:1	–	2.38	0.21	0.90
	18:1n-7	0.64	–	0.24	–
	18:1n-9	26.43	15.59	46.31	28.39
	20:1	2.03	0.37	1.51	0.99
	22:1n-9	0.83	–	0.09	0.24
	24:1	–	–	1.15	1.95
	Σ	39.61	27.47	54.34	39.90
ПНЖК	18:3n-3 (АЛК)	1.87	6.28	5.42	6.13
	20:3n-3	–	–	0.11	0.21
	20:5n-3 (ЭПК)	7.34	9.23	2.11	4.28
	22:6n-3 (ДГК)	12.39	7.02	4.55	7.08

Жирные кислоты Fatty acids		Годовики / Yearlings		Двухгодовики / Two year olds	
		Садки Cages	Пруд Ponds	Садки Ponds	Пруд Ponds
	n3 всего	21.60	22.53	12.19	17.70
	18:2n-6 (ЛК)	10.01	5.91	15.92	9.95
	20:3n-6	0.10	–	0.10	0.19
	20:4n-6 (АРК)	1.34	9.89	0.35	4.50
	n6 всего	11.45	15.80	16.37	14.64
	Σ ПНЖК	33.05	38.33	28.56	32.34
Σ n-3/ Σ n-6 ПНЖК		1.88	1.43	0.75	1.21
18:3n-3/18:2n-6		0.19	1.06	0.34	0.62
22:6n-3/20:5n-3		1.69	0.76	2.16	1.65
16:0/18:1n-9		0.70	1.21	0.28	0.61

Примечание. НЖК, МНЖК, ПНЖК – соответственно насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты; “–” – <0.05%.

Note. SFA, MUFA, PUFA – respectively saturated, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids; “–” – <0.05%.

Сравнивая спектры предельноненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) судака, можно констатировать пониженное содержание у заводских рыб, относительно прудовых, как суммарных ПНЖК (33.05 против 38.33% суммы ЖК у годовиков, и 28.56 против 32.34% у двухгодовиков соответственно), так и n-3 ПНЖК (21.60 против 22.53% суммы ЖК у годовиков, и 12.19 против 17.70% у двухгодовиков соответственно). В случае с кислотами n-3 ряда судак из заводских условий уступал прудовой молодежи по содержанию незаменимой материнской α-линоленовой кислоты (18:3n-3 (АЛК)) – 1.87 против 6.28% суммы ЖК у годовиков, и 5.42 против 6.13% у двухгодовиков соответственно, и эйкозапентаеновой кислоты (20:5n-3 (ЭПК)) – 7.34 против 9.23% суммы ЖК у годовиков, и 2.11 против 4.28% у двухгодовиков соответственно. Докозагексаеновая кислота (22:6n-3 (ДГК)) преобладала в липидах заводских годовиков, относительно прудовых (12.39 против 7.02% суммы ЖК), в то время как у двухгодовиков из садков имела меньшее значение (4.55 против 7.08% суммы ЖК).

Сумма кислот n-6 ряда была выше в теле рыб первого года жизни, культивируемых в прудах – 15.80 против 11.45% суммы ЖК, тогда как у двухлеток судака сумма этих кислот имела большее значение у заводских рыб – 16.37 против 14.64% суммы ЖК. При этом у судаков обоих возрастов доля материнской кислоты n-6 семейства – линолевой (18:2n-6 (ЛК)), преобладала в теле рыб из садков – 10.01 против 5.91% суммы ЖК у годовиков и 15.92 против 9.95% у двухгодовиков соответственно. Метаболическая производная линолевой ЖК – арахидоновая (20:4n-6 (АРК)), напротив, имела большее значение у прудовых рыб – 9.89 против 1.34% суммы ЖК у годовиков, и 4.55 против 0.35% у двухгодовиков соответственно.

В целом жирнокислотный состав тела заводских рыб соответствовал таковому в кормах, что подтверждается статистическим анализом – корреляционная зависимость (r) у годовиков равняется 0.95, двухгодовиков – 0.96.

Гематологические показатели судаков, представленные в таблице 7, достаточно однородны вне зависимости от условий содержания – достоверные отличия наблюдались у годовиков по содержанию гемоглобина в крови – 65.2 г/л у рыб из садков и 76.5 г/л у прудовых рыб, и среднему содержанию гемоглобина в эритроците (СГЭ) – 28.4 и 33.9 пг соответственно. У двухгодовиков достоверные различия определены только доля больших, или незрелых, эритроцитов крови, имеющие большее значение у заводских рыб, чем у прудовых – 7.3 против 2.9% соответственно.

Проведенные гистофизиологические исследования гонад двухгодовиков самцов судака, зимовавших в заводских условиях и прудах, указывают на схожесть в их развитии. Семенники исследованных рыб находились в начале IV стадии зрелости, семенные каналы заполнены массой сперматид и редкими спермиями, в стенках канальцев встречаются сперматогонии. В гонадах некоторых самцов присутствуют тяжи соединительной ткани – формируется рубец.

У самок судака в возрасте 2 года, зимовавших в садках и прудах, яичники находились на II стадии зрелости. В гонадах заводских самок среди превителлогенных ооцитов формировался резервный фонд половых клеток – оогоний и ооцитов ранней профазы мейоза (рис. 1).

У самок из прудов в гонадах встречались отдельные группы превителлогенных ооцитов, разделенных разросшейся соединительной тканью, местами эти фиброзные образования замещали генеративную ткань. Пополнения

резервного фонда половых клеток в таких яичниках не выявлены. Превителлогенные ооциты

представлены клетками мелких и средних размеров (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие различий в размерно-весовых параметрах годовиков судака после зимовки в прудах в сравнении с заводскими рыбами указывает на благоприятные условия для нагула молоди в пруду в летний период. Напротив, отставание в росте прудовых двухгодовиков относительно заводских рыб, веро-

ятно, связано с недостаточным количеством подходящего для них корма. На снижение ростовых показателей старших ремонтных групп судака в прудах в отсутствие доступных по размеру рыб-жертв указывают и другие авторы [Полтавчук, 1965 (Poltavchuk, 1965); Михеев и др., 1970 (Mikheev et al., 1970); Steffens, 1996].

Таблица 7. Гематологические показатели годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в прудах и садках

Table 7. Hematological parameters of one-year-old and two-year-old pikeperch after wintering in ponds and cages

Показатель / Indicator	Садки / Cages	Cv, %	Пруды / Ponds	Cv, %
<i>Годовики</i>				
Гемоглобин, г/л	65.2±2.5 ^a	8.6	76.5±1.5 ^b	3.9
СГЭ *, пг	28.4±1.7 ^a	13.7	33.9±1.0 ^b	6.0
Эритроциты, млн./мкл	2.3±0.1 ^a	7.6	2.3±0.1 ^a	9.5
Незрелые эритроциты, %	4.6±0.6 ^a	28.1	3.6±0.6 ^a	30.6
Лейкоциты, тыс./мкл	36.7±2.8 ^a	17.0	32.6±5.6 ^a	34.2
Лимфоциты, %	89.9±1.8 ^a	4.4	82.3±4.1 ^a	9.9
Большие (незрелые) лимфоциты, %	6.1±1.1 ^a	42.0	8.4±0.6 ^a	13.2
Нейтрофилы, %	0.4±0.3 ^a	163.0	0.1±0.1 ^a	200.0
Моноциты, %	3.6±0.6 ^a	36.0	9.3±4.1 ^a	88.3
<i>Двухгодовики</i>				
Гемоглобин, г/л	68.7±0.7 ^a	1.7	73.5±2.4 ^a	6.4
СГЭ, пг	31.7±1.8 ^a	10.1	35.6±1.9 ^a	10.4
Эритроциты, млн./мкл	2.2±0.1 ^a	8.0	2.1±0.1 ^a	7.5
Незрелые эритроциты, %	3.2±0.2 ^a	9.1	3.3±0.5 ^a	29.5
Лейкоциты, тыс./мкл	50.9±9.0 ^a	30.6	33.7±6.0 ^a	35.5
Лимфоциты, %	84.5±1.0 ^a	2.0	84.9±2.2 ^a	5.3
Большие (незрелые) лимфоциты, %	7.3±1.9 ^a	43.8	2.9±1.4 ^b	50.0
Нейтрофилы, %	0.3±0.2 ^a	86.6	0.3±0.1 ^a	115.5
Моноциты, %	7.8±1.5 ^a	32.8	12.0±1.8 ^a	30.6

Примечание. “*” – СГЭ – среднее содержание гемоглобина в эритроците (пиктограммы, пг).

Note. “*” – СГЭ – the average content of hemoglobin in an erythrocyte (pictograms, pg).

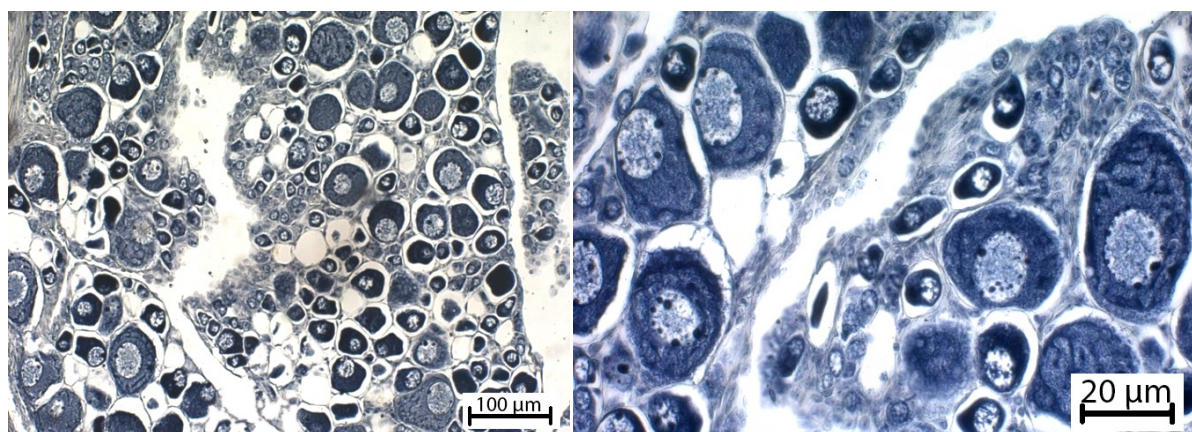


Рис. 1. Участок яичника II стадии зрелости судака из садков. Слева – старшая генерация ооцитов 3 размерной группы, между ними присутствуют многочисленные гнезда половых клеток резервного фонда. Справа – то же крупным планом. Между превителлогенными ооцитами присутствуют многочисленные гнезда оогониев и ооцитов ранней профазы мейоза, происходит активное пополнение очередных генераций.

Fig. 1. Section of ovary in stage II of maturity of pikeperch from cages. On the left – the oldest generation of oocytes of the size group 3, between them there are numerous nests of germ cells of the reserve fund. On the right – the same close-up. Numerous nests of oögonia and oocytes of the early prophase of meiosis are present between previtellogenic oocytes, and the next generations are actively replenished.

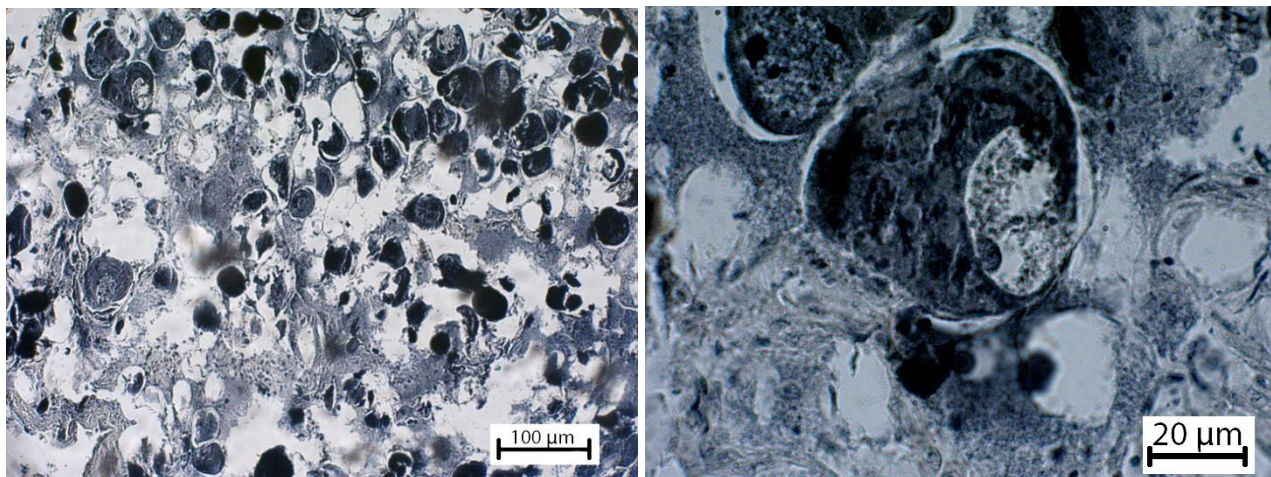


Рис. 2. Участок яичника II стадии зрелости судака из прудов. Слева – previtellogenные ооциты представлены отдельными группами, разделенными соединительнотканскими образованиями, соединительная ткань замещает генеративную. Превителлогенные ооциты мелких и средних размеров. Справа – то же крупным планом. Превителлогенные ооциты разделены соединительнотканскими тяжами, пополнение резервного фонда половых клеток отсутствует.

Fig. 2. Section of ovary in stage II of maturity of pikeperch from ponds. On the left – previtellogenic oocytes are represented by groups separated by connective tissue formations, connective tissue replaces generative. Previtellogenic oocytes of small and medium size. On the right – the same close-up. Previtellogenic oocytes are separated by connective tissue strands; there is no replenishment of the reserve fund of germ cells.

В отличие от прудовых рыб, выросших на естественной пище, судаки в заводских условиях получали искусственные форелевые корма с большим содержанием жира – 18–24% для годовиков и 24–26% для двухгодовиков. Так как липиды в организме гидробионтов главным образом образуются из жиров, поступающих с пищей [Sargent et al., 1993; Alasalvar et al., 2002; Datsomor et al., 2019], использование высококалорийных диет в нашем опыте привело к чрезмерному накоплению полостного жира у культивируемых в заводских условиях рыб, которого у двухгодовиков было в 18 раз больше, чем у одновозрастных рыб из прудов. Избыток жира в организме заводских рыб данного возраста привел к увеличению размеров печени, индекс которой был более чем в два раза больше, чем у прудовых рыб, что свидетельствует о накоплении липидов в печени судаков, получавших избыточное кормление или высококалорийные диеты. Наши данные согласуются с работой зарубежных авторов, в которой гепатосоматический индекс судака, получавшего жирные коммерческие корма, был в 1.8 раза больше, чем у диких рыб – 2.0 против 1.1 соответственно [Schulz, Bódis, 2008]. У других видов рыб, выращиваемых на искусственных диетах, также наблюдается повышение индекса печени по отношению к диким рыбам, например у форели *Oncorhynchus mykiss* [Roh et al., 2020], желтого горбыля *Pseudosciaena crocea* [Wang et al., 2015], скалозуба *Takifugu rubripes* [Kikuchi et al., 2009]. Для некоторых из пере-

численных выше видов рыб по данным гистологического анализа показано, что у перекормленных особей вакуолизированные клетки печени содержали более крупные отложения липидов в цитоплазме по сравнению с рыбами контрольной группы. Стоит полагать, что в нашем опыте у судака, выращенного на высококалорийных кормах, в печени происходили схожие процессы, на что косвенно указывают физические свойства органа – у рыб из садков печень имела песочный цвет, рыхлую структуру и увеличенные размеры, в то время как у прудовых рыб печень имела красно-бурый цвет и плотную структуру. На отечность и побледнение, как признаки жировой дегенерации печени, указывали западные исследователи при выращивании высокотелой лакедры *Seriola dumerili* с использованием искусственных диет [Rodriguez-Barreto et al., 2012].

Химический состав тела годовиков, выращенных в разных условиях, имеет схожие параметры, что, в том числе, говорит о хороших условиях нагула судаков в прудах и садках. Исключением явился витамин С, уровень которого в теле заводских рыб был в 4 раза больше, чем прудовых.

У двухгодовиков различия в химическом составе более значимые и выражаются, в первую очередь, в повышенной (в 4.3 раза) жирности тела рыб из садков, по отношению к прудовым рыбам, что согласуется с данными зарубежных исследователей. Так, например, о более чем трехкратном увеличении жирно-

сти тела судака, культивируемого на искусственных форелевых кормах с содержанием жира 11%, по сравнению с прудовыми рыбами, отмечала Янковска с соавторами [Jankowska et al., 2003]. В целом, избыточное накопление жиров в теле в результате применения искусственных диет, свойственно и другим видам культивируемых рыб – желтому или американскому окуню *Perca flavescens* [Gonzalez et al., 2006], форели [Fallah et al., 2011], лососю *Salmo salar* [Johnston et al., 2006], щуке *Esox lucius* [Jankowska et al., 2008], сенегальской камбале *Solea senegalensis* [Norambuena et al., 2012] и др.

Повышение жирности тела у заводских рыб в нашем опыте приводило к снижению влажности (до 69.2 против 76.6% у прудовых рыб), что указывает на обратную корреляцию между содержанием влаги и липидов в мышечной ткани. Подобная зависимость показана на других видах рыб, в том числе на судаке [Костылева, Флерова, 2015 (Kostyleva, Flerova, 2015); Jankowska et al., 2003; Ljubojevic et al., 2013].

Несмотря на значительные различия в содержании липидов тела, белково-минеральная составляющая рыб, выращенных в различных условиях, не была подвержена существенным изменениям – достоверных отличий по содержанию белка (15.07–16.61%) и золы (2.86–3.16%) у двухгодовиков судака из прудов и садков в нашем опыте не отмечено. Схожие показатели в теле белка и золы были получены на сеголетках судака, выращенных с применением коммерческих кормов – 17.3 и 3.5% соответственно [Schulz, Bódis, 2008].

Содержание БЭВ у заводских рыб в возрасте 2 года было в 2.6 раза больше, чем у одновозрастных рыб из прудов. Вероятно, повышенный уровень БЭВ у рыб, выращенных в индустриальных условиях, обусловлен чрезмерным накоплением у них полостного жира, что требует дополнительных исследований. Например, у теплокровных животных при ожирении длительно повышается уровень свободных жирных кислот в плазме и подавляется секреция инсулина, что, в свою очередь, приводит к повышенному уровню глюкозы в крови [Boden, Shulman, 2002]. На повышение глюкозы в плазме крови указывают зарубежные авторы, исследовавшие корма различной жирности при выращивании скалозуба – использование корма с 26% жира повышало уровень глюкозы в плазме до 99 мг/100 мл, против 45.3 мг/100 мл у рыб, получавших корма с 6% жира [Kikuchi et al., 2009].

Содержание витамина С в теле двухгодовиков из прудов, как и в случае с годовика-

ми, было значительно меньше (более чем в 5.5 раз), чем у одновозрастных рыб, выращенных в садках. На низкое содержание витамина у судаков из прудов в осенний период, по сравнению с заводскими рыбами, мы обращали внимание ранее. Так у сеголеток, выращенных в прудах, содержание витамина С в теле составляло 22–25 мкг/г, у судаков из садков – 45–57 мкг/г [Лютиков, Королев, 2020, 2021 (Lyutikov, Korolyov, 2020, 2021)]. Однако стоит отметить, что содержание витамина С у молоди из прудов снижается по мере их роста – от 70–82 мкг/г в возрасте 30–49 сут до 22–23 мкг/г в возрасте 145–152 сут. Подобное снижение витамина в теле молоди может быть связано с голоданием, вызванным выеданием зоопланктона и зообентоса, а также массовым вылетом имаго насекомых, наблюдающимся в прудах Северо-Запада России к середине июля, что приводит к депрессии кормовой базы [Королев, 1984 (Korolyov, 1948)]. Другой причиной снижения витамина С у прудовой молоди по мере ее роста может быть как смена кормовых организмов, так и изменение их питательной ценности.

С диетами прудовых и заводских рыб также связаны различия их жирнокислотного статуса, что подтверждается высокой корреляционной зависимостью (r) липидов тела судака от жирнокислотного состава кормов – 0.95 у годовиков и 0.96 двухгодовиков. На зависимость жирнокислотного состава липидов культивируемых объектов от искусственных диет мы обращали внимание ранее при исследовании икры муксуна *Coregonus muksun*, полученной от производителей, выращенных в заводских условиях, чей жирнокислотный статус коррелировал с жирнокислотным составом липидов корма при $r = 0.97$ [Lyutikov, 2022].

Использование коммерческих кормов при выращивании судаков в садках привело к увеличению в липидах рыб долей олеиновой и линолевой кислот, которых в среднем в 1.66 и 1.65 раза больше соответственно, чем у судаков из прудов (вне зависимости от возраста рыб). Повышение уровня содержания указанных кислот связано с использованием в коммерческих искусственных кормах рапсового масла, в котором на долю 18:1n-9 приходится до 60% суммы ЖК, на 18:2n-6 – около 20% суммы ЖК [Остриков и др., 2016 (Ostrikov et al., 2016)].

Повышение доли 18:2n-6 в липидах тела заводских рыб, сделало эту кислоту наиболее представительной среди n-6 ЖК – 88% от суммы n-6 ЖК у годовиков и 98% от суммы n-6 ЖК у двухгодовиков. У прудовых рыб на долю

линолевой кислоты приходится 37% от суммы n-6 ЖК у годовиков и 68% от суммы n-6 ЖК у двухгодовиков. Повышение доли линолевой кислоты у судака старшего возраста в прудах вероятно связано с его переходом на питание молодью карповых рыб (кап *Cyprinus carpio*, плотва *Rutilus rutilus*), значительную долю рациона которых может составлять растительная пища, что определяет накопление в липидах тела карповых линолевой кислоты (до 15% от суммы ЖК [Steffens, Wirth, 2007]).

Несмотря на относительно большие значения линолевой кислоты в липидах тела заводских рыб, ее метаболическая производная – арахидоновая кислота, находилась на низком уровне – 1.34% суммы ЖК у годовиков и 0.35% суммы ЖК у двухгодовиков. Учитывая высокую биологическую активность 20:4n-6 в репродуктивных процессах рыб и ее направленное накопление в гонадах [Bell, Sargent, 2003], интересным представляется снижение этой кислоты у судаков из садков и прудов по мере их роста. Особенно мало 20:4n-6 в липидах индустриальных двухгодовиков, чьи гонады находятся в процессе активного развития – у самцов семенники находятся на IV стадии зрелости, у самок отмечена II стадия с формированием резервного фонда половых клеток. Незначительное присутствие арахидоновой кислоты у судака из садков можно связать с ее низким содержанием в искусственных кормах, применяемых в нашем опыте – до 1.26% суммы ЖК (см. табл. 1), и, вероятно, также с низкой интенсивностью преобразования 20:4n-6 из материнской 18:2n-6 в организме судака.

В липидах рыб из прудов арахидоновая кислота занимает существенно бóльшие доли в сумме ЖК, чем у заводских особей, и составляет у годовиков 9.89%, у двухгодовиков 4.50%. Снижение долей 20:4n-6 в липидах прудовых двухгодовиков, относительно рыб младшего возраста, как и в случае с витамином С, может быть связано со сменой рациона растущих рыб.

Прочие физиологически активные жирные кислоты – кислоты группы n-3 ПНЖК, – α -линоленовая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая, в большей степени были представлены в липидах судаков из прудов (см. табл. 6). Исключением явилась доля 22:6n-3 у годовиков, которая была в 1.8 раза больше у садковых рыб, чем у одновозрастной прудовой молодежи. Сумма n-3 ПНЖК у годовиков из садков и прудов имела близкие значения – 21.60 и 22.53% от суммы ЖК соответственно, в то время как у двухгодовиков доля n-3 была

меньше у заводских рыб – 12.19% от суммы ЖК против 17.70% у прудовых.

На снижение в липидах заводских двухгодовиков доли жирных кислот n-3 ряда могло повлиять накопление у рыб большого количества полостного, или резервного, жира – триацилглицеринов, представленного в значительной степени насыщенными и мононенасыщенными жирными кислотами [Ржавская, 1976 (Rzhavskaya, 1976); Остроумова, 2012 (Ostroumova, 2021)]. Сумма этих кислот у двухгодовиков судака составляла 71.5% от всех липидов тела, при этом на олеиновую кислоту приходилось 46.3% от суммы ЖК, что является наибольшими показателями в эксперименте. Избыток олеиновой кислоты определил преобладание МНЖК в липидах заводских двухгодовиков судака, что в целом свойственно рыбам, культивируемым на искусственных коммерческих кормах [Alasalvar et al., 2002; Jankowska et al., 2008; Fuentes et al., 2010; Norambuena et al., 2012].

Снижение суммарной доли n-3 и повышение доли 18:2n-6 у двухлеток судака из индустриальных условий привело к снижению индекса n-3/n-6 ПНЖК до 0.75, в то время как у прудовых двухлеток этот индекс равен 1.21. В свою очередь, увеличение доли линолевой кислоты 18:2n-6 послужило значительному снижению индекса соотношения эссенциальных ЖК 18:3n-3/18:2n-6 у заводских рыб – 0.19 у годовиков и 0.34 у двухгодовиков, против 1.06 и 0.62 у прудовых рыб этого же возраста соответственно. Также заводские рыбы характеризовались относительно низкими индексами отношения наиболее представительных насыщенных и ненасыщенных кислот – 16:0/18:1n-9, которые составляли 0.70 у годовиков и 0.28 у двухгодовиков, против 1.21 и 0.61 у прудовых рыб первого и второго года жизни соответственно. Данные различия в указанных индексах можно связать с последствиями от использования в искусственных кормах растительных масел (см. Материал и методику), повышающих содержание олеиновой и линолевой кислоты в кормах, и, как следствие, в липидах заводских рыб. Приведенные выше индексы характеризуют в том числе ход и направленность реакций, и интенсивность процессов липидного обмена организма [Nefedova et al., 2020], что указывает на его нарушение у судаков, культивируемых на искусственных кормах.

Напротив, индекс соотношения эссенциальных ПНЖК 22:6n-3/20:5n-3, отражающий, в том числе, физиологическое состояние и жизнестойкость рыб [Bell et al., 1997], был

выше у судаков из садков – 1.69 у годовиков и 2.16 у двухгодовиков, против 0.76 и 1.65 у одновозрастных рыб из прудов соответственно.

Еще один показатель, характеризующий разнообразие жирнокислотного состава животных и выражающийся в сумме долей наиболее представительных жирных кислот – 16:0, 18:1n-9, 22:6n-3 и 18:2n-6 [Lyutikov, 2022], был существенно больше у заводских рыб, чем у прудовых – 67.4 против 47.3 у годовиков, и 79.6 против 62.9 у двухгодовиков соответственно.

По гематологическим показателям прудовые рыбы также имели некоторые отличия относительно заводских, и характеризовались меньшим содержанием гемоглобина в крови (65.2–68.7 против 73.5–76.5 г/л) и в самих эритроцитах (28.4–31.7 против 33.9–35.6 пг). У годовиков разница в указанных показателях достоверна, а у двухгодовиков наблюдается тенденция к их снижению у заводских рыб. Несмотря на некоторое снижение гемоглобина в крови у судаков из промышленных условий, его уровень находился в пределах нормы, определенной для диких рыб этого вида, у которых гемоглобин в крови был в диапазоне 67–71 г/л [Jankowska et al., 2003]. Снижение гемоглобина у объектов аквакультуры относительно диких рыб установлено, например, на лососе [Остроумова, 1966 (Ostroumova, 1966)] и карпе [Головина, 1996 (Golovina, 1996)]. По мнению некоторых авторов, падение уровня гемоглобина связано со снижением интенсивности обменных процессов у культивируемых рыб в связи с уменьшением их двигательной активности в промышленных условиях [Остроумова, 1966 (Ostroumova, 1966)]. Однако в нашем исследовании кровь у рыб отбирали после зимовки. Как в прудах, так и садках, в зимний период температура воды находилась в пределах 0.2–1.0°C, что определяет низкую активность зимующих рыб. Учитывая сходство основных гидрохимических параметров (температурный режим, содержание кислорода, кислотность, минерализация и др.) прудов и оз. Суходольского (см. табл. 2), стоит полагать, что на снижение гемоглобина в крови судаков из заводских условий могло повлиять их физиологическое состояние – в частности избыточное содержание жира. Снижение гемоглобина в крови рыб как следствие накопления чрезмерного количества жира в теле было отмечено для скалозуба [Kikuchi et al., 2009], но не определено для форели [Roh et al., 2020].

Несмотря на некоторое снижение гематологических показателей у выращенных на искусственных кормах рыб, патологических

отклонений в красной крови (анизацитоз, пойкилоцитоз и др.) не наблюдалось. В пользу этого говорит нормальное количество эритроцитов в крови у всех исследованных судаков – 2.1–2.3 млн/мкл, что соответствует диким особям [Пучков, 1954 (Puchkov, 1954)].

Как показывают предыдущие исследования, пониженное содержание гемоглобина у судаков из садков при одинаковом уровне эритроцитов с прудовыми рыбами вызвано увеличением ядра и снижением объема цитоплазмы в эритроцитах крови заводских рыб, что ограничивает перенос кислорода [Вылка, 2021 (Vylka, 2021)].

Достоверным отличием в структуре белой крови было большее количество больших (или незрелых) лимфоцитов у двухлеток судака из садков – 7.3 против 2.9% у одновозрастных рыб из прудов. Однако существенного влияния на физиологическое состояние судаков подобное увеличение незрелых лимфоцитов не оказывает из-за отсутствия функциональных отличий между двумя группами лимфоцитов – есть предположение, что одна группа лимфоцитов является предшественником другой [Житинева и др., 2004 (Zhitineva et al., 2004)].

В крови заводских рыб наблюдается тенденция к повышению лимфоцитов и лейкоцитов – у годовиков доля лимфоцитов в крови составляла 95.0%, из прудов – 90.7%, у двухгодовиков 91.8 против 87.8% соответственно. Лейкоциты в крови заводских годовиков имели значение 36.7 против 32.6 тыс./мкл у прудовых рыб, у двухгодовиков – 50.9 против 33.7 тыс./мкл соответственно. Выработка обсуждаемых элементов крови связана с защитным механизмом и иммунологическими ответами организма против инфекционных заболеваний и токсического воздействия [Кузина, 2009 (Kuzina, 2009); Movahed et al., 2015], и в промышленных условиях может стимулироваться высокими плотностями посадки и использованием искусственных кормов, в составе которых присутствуют компоненты, не свойственные рациону судака в природе.

Моноциты заводских рыб, напротив, имели тенденцию к снижению, относительно судаков из прудов – 3.6 против 9.3 у годовиков, и 7.8 против 12.0 у двухгодовиков. Подобную картину мы наблюдали ранее на сеголетках судака, культивируемых в промышленных условиях [Лютиков, Королев, 2021 (Lyutikov A.A., Korolev A.E., 2021)]. Снижение моноцитов, как относительной величины, происходит на фоне повышения у заводских рыб доли наиболее представительной группы кровяных клеток – лимфоцитов.

Остальные показатели крови подопытных судаков из садков и прудов находятся на близком уровне и соответствуют нормам, определенным для диких рыб. В частности незрелые эритроциты всех возрастных групп на мазках присутствуют в относительно небольшом количестве – 3.2–4.6%, что характерно для рыб-хищников [Заботкина и др., 2015 (Zabotkina et al., 2015)].

Отмеченные нами физиологические изменения, происходящие в организме заводских рыб, не имели негативного воздействия на развитие гонад, в частности у двухгодовиков, яичники которых характеризуются присутствием ооцитов различных размерных групп и формированием резервного фонда половых клеток. У самок из прудов, напротив, половые железы находились в угнетенном состоянии, половые клетки представлены отдельными группами мелких превителлогенных ооцитов, пополнение резервного фонда отсутствует.

Вероятно, отставание в степени развития гонад прудовых двухгодовиков связано с худшей обеспеченностью их пищей, чем заводских рыб. В пользу этого говорит факт отсутствия значимых различий в комплексе абиотических

факторов среды – гидрохимических (см. табл. 2) и фототермических параметров, определяющих нормальный ход развития воспроизводительной системы у рыб в условиях садкового или прудового содержания. О важности внешних факторов среды, стимулирующих нормальное развитие половых желез у рыб, свидетельствуют нарушения репродуктивного цикла у судака, выращиваемого в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) (Khendek et al., 2018), в которых проблематично создать условия, приближенные к естественным.

Отрицательным моментом, негативно влияющим на физиологическое состояние гонад, и, как следствие, на качество половых продуктов, может быть ожирение производителей, как это показано, на примере сиговых рыб [Шумилина, Якубец, 2007 (Shumilina, Yakubets, 2007)]. Тем не менее, учитывая особенность жирового обмена судака, в соответствии с которой накопление липидов происходит в виде висцерального жира в полости тела [Payuta, Flerova, 2019], чрезмерное отложение липидов может не отразиться негативным образом на состоянии гонад судака, однако это требует дополнительных исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований физиологического состояния годовиков и двухгодовиков судака после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах установлены существенные различия в размерно-массовых, химических, гематологических и гистофизиологических параметрах рыб. При этом более выраженные различия свойственны судакам старшего возраста.

У рыб первого и второго года жизни достоверные отличия наблюдались у судаков из садков в более высоких значениях индекса печени, полостного жира и витамина С, смещении баланса жирнокислотного статуса липидов тела в сторону накопления МНЖК (за счет олеиновой кислоты) и линолевой кислоты и снижением долей физиологически активных кислот ряда n-3, достоверным снижением гемоглобина и СГЭ у годовиков и тенденцией на снижение этих показателей у двухгодовиков.

Продолжительность содержания судаков в искусственных условиях определяет увеличение отличительных параметров у рыб старших возрастов с одновозрастными рыбами из прудов. Двухгодовики судака из садков достоверно отличаются большими размерами

(длиной и высотой тела) и массой, увеличением жирности тела, сухого вещества и БЭВ, повышением доли незрелых лимфоцитов крови. Кроме этого, у заводских двухгодовиков более развиты яичники, в которых происходит активное формирование резервного фонда половых клеток и наблюдается присутствие ооцитов различных размерных групп. При этом гонадосоматический индекс у судаков из садков сопоставим с таковым у прудовых рыб.

Очевидно, что определенные нами отличия у разновозрастных судаков после зимовки в садках рыбоводного хозяйства и прудах, связаны с различными условиями содержания и кормления рыб.

Результаты настоящей работы определяют необходимость дальнейших физиолого-биохимических исследований рыб из диких популяций и аквакультуры с целью определения потребностей культивируемых рыб в особенностях условий содержания и кормления, что имеет значение для повышения качества производителей и их потомства, используемых для воспроизводства природных запасов судака и аквакультуры.

Работа выполнена в рамках Государственного задания – Тема № 31.3 “Разработка технологической документации для модельных хозяйств по получению молоди и товарному выращиванию рыб – перспективных объектов аквакультуры”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас пресноводных рыб России: В 2 т. Т. 2. // Под ред. Ю.С. Решетникова. М.: Наука, 2002. 253 с.
- Вылка М.М. Показатели крови годовиков и двухгодовиков судака *Sander lucioperca*, выращиваемого в прудах и садках // “Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса”: материалы IX Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 140-летию ВНИРО / Под ред. Гордеева И.И., Киввы К.К., Воробьевой О.В., Архипова Л.О., Лаврухиной Е.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2021. С. 44–46.
- Головина Н.А. Морфофункциональная характеристика крови рыб – объектов аквакультуры. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М. ВНИИПРХ, 1996. 53 с.
- Голодец Г.Г. Лабораторный практикум по физиологии рыб. М.: Пищепромиздат, 1955. 90 с.
- Горбенко Е.В., Дахно Л.Г., Павлюк А.А., Сергеева С.Г. Состояние производителей судака и тарани и обеспеченность ими нерестово-выростных хозяйств пойменного типа Краснодарского края // Тр. АзНИИРХ (Результаты рыбохозяйственных исследований в Азово-Черноморском бассейне). 2019. Т. 2. С. 201–209.
- Житенева А.Д., Макаров Э.В., Рудницкая О.А., Мирзоян А.В. Основы ихтиогематологии (в сравнительном аспекте). Р. н/Дону: АзНИИРХ, 2012. 320 с.
- Заботкина Е.А., Лапирова Т.Б., Середняков В.Е., Нестерова Т.А. Экологическая пластичность гематологических показателей пресноводных костных рыб // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2015. Т. 72. С. 16–29.
- Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб (сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб). М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1983. 184 с.
- Князева Л.М. Рекомендации по увеличению срока хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ, 1979. 12 с.
- Королев А.Е. Энергетический баланс и рационы молоди судака и пеляди при их совместном выращивании в пруду // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. 1984. Т. 222. С. 21–30.
- Костылева А.А., Флерова Е.А. Особенности химического состава мышечной ткани леща *Abramis brama* Горьковского водохранилища // Вопр. рыболовства. 2015. Т. 16, № 4. С. 412–418.
- Кудерский Л.А. Долгопериодные изменения уловов рыб восточной части Финского залива // Вопр. рыболовства. 2000. Т. 1, № 2–3, Ч. 2. С. 23–24.
- Кузина Т.В. Анализ гематологических показателей судака Волго-Каспийского канала // Естественные науки. 2009. № 4. С. 96–100.
- Лилли Р. Патогистологическая техника и практическая гистохимия. М.: Мир, 1969. 645 с.
- Лютиков А.А., Королев А.Е. Определение оптимальной массы и плотности посадки молоди судака (*Sander lucioperca*) при переводе из прудов в индустриальные условия // Вопр. рыболовства. 2020. Т. 21, № 2. С. 188–202.
- Лютиков А.А., Королев А.Е. Определение оптимальных показателей массы тела, плотности посадки, температурного режима выращивания и состава кормов при адаптации молоди судака (*Sander lucioperca*) из прудов к индустриальным условиям // Вопр. рыболовства. 2021. Т. 22, № 3. С. 61–82.
- Методические указания по проведению гематологического обследования рыб, утвержденные Департаментом ветеринарии от 2 февраля 1999 г. № 13–4–2/1487 // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. Ч. 2. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро, 1999. С. 69–97.
- Микодина Е.В., Седова М.А., Чмилевский Д.А., Микулин А.Е., Пьянова С.В., Полуэктова О.Г. Гистология для ихтиологов: опыт и советы. М.: ВНИРО. 2009. 112 с.
- Михеев П.В., Мейснер Е.В., Михеев В.П. Садковое рыбоводное хозяйство на водохранилищах. М.: Пищевая промышленность, 1970. 159 с.
- Остриков А.Н., Горбатова А.В., Аникин А.А., Копылов М.В. Анализ жирнокислотного состава рапсового масла // Масложирова промышленность. 2016. № 6. С. 18–21.
- Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.
- Остроумова И.Н. Методические указания по использованию анализа крови для оценки качества выращивания молоди семги. Л.: ГосНИОРХ, 1966. 11 с.
- Полтавчук М.А. Биология и разведение днепровского судака в замкнутых водоемах. Киев: Наукова Думка, 1965. 259 с.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Пучков Н.В. Физиология рыб. М. Пищепромиздат, 1954. 370 с.
- Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М., Пищевая промышленность, 1976. 470 с.
- Шумилина А.К., Якубец Т.Г. Влияние жирности на репродуктивные показатели самцов пеляди в индустриальных условиях // “Рациональное использование пресноводных экосистем – перспективное направление национального проекта “Развитие АПК” (2007, Москва). Международная научно-практическая конференция, 17–19 декабря 2007 г.: материалы и доклады / ГНУ ВНИИР Россельхозакадемии. М.: Россельхозакадемия, 2007. С. 319–333.
- Шурухин А.С., Лукин А.А., Педченко А.П., Титов С.Ф. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы Финского залива балтийского моря // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 160. С. 60–69.

- Ackman R.G., Takeuchi T. Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon *Salmo salar* // Lipids. 1986. Vol. 21. P. 117–120.
- Alasalvar C., Taylor K.D.A., Zubcov E., Shahidi F., Alexis M. Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acid and trace mineral composition // Food Chem. 2002. Vol. 79. P. 145–150.
- Arechavala-Lopez P., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., Sfakianakis D.G., Somarakis S. Morphological differences between wild and farmed Mediterranean fish // Hydrobiologia. 2011. Vol. 679. № 1. P. 217–231. DOI: 10.1007/s10750-011-0886-y
- Bell G., Sargent J. R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities // Ibid. 2003. Vol. 218. P. 491–499.
- Bell J.G., Famdale B.M., Bruce M.P., Navas J.M., Carrillo M. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*) // Aquaculture. 1997. Vol. 149. P. 107–119.
- Boden G., Shulman G.I. Free fatty acids in obesity and type 2 diabetes: defining their role in the development of insulin resistance and p-cell dysfunction // Eur. J. Clin. Invest. 2002. Vol. 32. Iss. 3. P. 14–23.
- Datsomor A.K., Zic N., Li K., Olsen R.E., Jin Y., Vik J.O., Edvardsen R.B., Grammes F., Wargelius A., Winge P. CRISPR/Cas9-mediated ablation of elovl2 in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inhibits elongation of polyunsaturated fatty acids and induces Srebp-1 and target genes // Sci. Rep. 2019. Vol. 9:7533 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43862-8>
- Fallah A.A., Saei-Dehkordi S.S., Nematollahi A. Comparative assessment of proximate composition, physicochemical parameters, fatty acid profile and mineral content in farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Int. J. Food Sci. Technol. 2011. Vol. 46. P. 767–773.
- Fazio F., Marafioti S., Arfuso S., Piccione G., Faggio C. Comparative study of the biochemical and hematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species // Vet. Med. 2013. Vol. 58. P. 576–581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>
- Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226. N. 1. P. 497–509.
- Fuentes A., Fernandez-Segovia I., Serra J.A., Barat J.M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality // Food Chem. 2010. Vol. 119. P. 1514–1518.
- Gonzalez S., Flick G.J., O'Keefe S.F., Duncan S.E., McLean E., Craig S.R. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*) // J. Food Compos. Anal. 2006. Vol. 19. P. 720–726.
- Hard J.J., Berejikian B.A., Tezak E.P., Schroder S.L., Curtis M., Knudsen L., Parker T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captively reared adult coho salmon: a geometric analysis // Environ. Biol. Fishes. 2000. Vol. 58. P. 61–73.
- Jankowska B., Zakes Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter field of wild and cultivated pikeperch *Sander lucioperca* (L.) // Eur. Food Res. Technol. 2003. Vol. 217. P. 401–405.
- Jankowska B., Zakeś Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. Fatty acid composition of wild and cultured northern pike (*Esox lucius*) // J. Appl. Ichthyol. 2008. Vol. 24. P. 196–201.
- Johnston I.A., Li X., Vieira V.L.A., Nickell D., Dingwall A., Alderson R., Campbell P., Bickerdike R. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon // Aquaculture 2006. Vol. 256. P. 323–336.
- Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females // Animal. 2018. Vol. 12. P. 2335–2346.
- Kikuchi K., Furuta T., Iwata N., Onuki K., Noguchi T. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes* // Aquaculture, 2009. Vol. 298. P. 111–117.
- Ljubojevic D., Trbovic D., Lujic J., Bjelic-Cabrilo O., Kostic D., Novakov N., Cirkovic M. Fatty acid composition of fishes from inland waters // Bulgar. J. Agric. Sci. 2013. Vol. 19. № 1. P. 62–71.
- Lyutikov A.A. Comparative Characteristics of the Size–Weight Parameters and Lipid Composition of Wild and Cultured Eggs of the Muksun *Coregonus muksun* (Pallas, 1814) // Contemporary Problems of Ecology. 2022, Vol. 15. № 1. P. 83–90. DOI: 10.1134/S199542552201005X
- Movahed R., Khara H., Ahmadnezhad M., Sayadboorani M. Hematological characteristics associated with parasitism in Pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae) from Anzali Wetland // J. Parasit. Dis. 2015. Vol. 40. P. 1337–1341.
- Nefedova Z. A., Murzina S. A., Pekkoeva S. N., Voronin V. P., Nemova N. N. Comparative Characteristics of the Fatty Acid Composition of Lipids in Factory and Wild Juveniles of Atlantic Salmon *Salmo salar* // Contemporary Problems of Ecology. 2020. Vol. 13. № 2. P. 156–161.
- Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I. Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle, liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) // Aquaculture. 2012. Vol. 356. P. 176–185.
- Parrino V., Cappello T., Costa G., Cannavà C., Sanfilippo M., Fazio F., Fasulo F., Comparative study of hematology of two teleost fish (*Mugil cephalus* and *Carassius auratus*) from different environments and feeding habits // Eur. Zool. 2018. Vol. 85. P. 193–199. <https://doi.org/10.1080/24750263.2018.1460694>

- Payuta A.A., Flerova E.A. Some indicators of metabolism in the muscles, liver, and gonads of pike-perch *Sander lucioperca* and sibel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir // *Journal of Ichthyology*. 2019. Vol. 59. №. 2. P. 255–262.
- Rodriguez-Barreto D., Jerez S., Cejas J.R., Martin M.V., Acosta N.G., Bolacos A., Lorenzo A. Comparative study of lipid and fatty acid composition in different tissues of wild and cultured female broodstock of greater amberjack (*Seriola dumerili*) // *Aquaculture*. 2012. Vol. 360–361. P. 1–9.
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B.S., Kim D.H. Overfeeding-induced obesity could cause potential immuno-physiological disorders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Animals*. 2020. Vol. 10. P. 1499–1506.
- Ruuhijärvi J., Hyvärinen P. The status of pike-perch culture in Finland // *J. Appl. Ichtiol.* 1996. Vol. 12 (3–4). P. 185–188.
- Sargent J.R., Bell J.G., Bell M.V., Henderson R.J., Tocher D.R. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. *Aquaculture: Fundamental and Applied Research*. Coastal Estuarine Studies. Washington, USA: American Geophysical Union (AGU), 1993. Vol. 43. P. 103–124.
- Schulz C., Bódis M. Rearing and feeding management of pikeperch (*Sander lucioperca*) in intensive systems // *World Aquaculture*, 2008. Vol. 17–21.
- Steffens W. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review // *J. Appl. Ichtiol.* 1996. Vol. 12 (3–4). P. 167–170.
- Steffens W., Wirth M. Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*) // *Aquaculture International*. 2007. Vol. 15. P. 313–319.
- Wang X., Li Y., Hou C., Gao Y., Wang Y. Physiological and molecular changes in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) with high-fat diet-induced fatty liver disease // *Aquac. Res.* 2015. Vol. 46. P. 272–282.
- Yildiz M., Şener E., Timur M. Effects of differences in diet and seasonal changes on the fatty acid composition in fillets from farmed and wild sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) // *Int. J. Food Sci. Technol.* 2008. Vol. 43. P. 853–858.

REFERENCES

- Ackman R.G., Takeuchi T. Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon *Salmo salar*. *Lipids*, 1986, vol. 21, pp. 117–120.
- Alasalvar C., Taylor K.D.A., Zubcov E., Shahidi F., Alexis M. Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acid and trace mineral composition. *Food Chem.*, 2002, vol. 79, pp. 145–150.
- Arechavala-Lopez P., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J.T., Sfakianakis D.G., Somarakis S. Morphological differences between wild and farmed Mediterranean fish. *Hydrobiologia*, 2011, vol. 679, no. 1, pp. 217–231. doi: 10.1007/s10750-011-0886-y
- Atlas presnovodnyh ryb Rossii [Atlas of freshwater fish of Russia (ed. Yu.S. Reshetnikov)]. Moscow, Nauka, 2002. Bd. 2. 253 p. (In Russian)
- Bell G., Sargent J.R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Ibid*, 2003, vol. 218, pp. 491–499.
- Bell J.G., Famdale B.M., Bruce M.P., Navas J.M., Carrillo M. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 1997, vol. 149, pp. 107–119.
- Boden G., Shulman G.I. Free fatty acids in obesity and type 2 diabetes: defining their role in the development of insulin resistance and β -cell dysfunction. *Eur. J. Clin. Invest.*, 2002, vol. 32, iss. 3, pp. 14–23.
- Datsomor A.K., Zic N., Li K., Olsen R.E., Jin Y., Vik J.O., Edvardsen R.B., Grammes F., Wargelius A., Winge P. CRISPR/Cas9-mediated ablation of elovl2 in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inhibits elongation of polyunsaturated fatty acids and induces Srebp-1 and target genes. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9:7533 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43862-8>
- Fallah A.A., Saei-Dehkordi S.S., Nematollahi A. Comparative assessment of proximate composition, physicochemical parameters, fatty acid profile and mineral content in farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2011, vol. 46, pp. 767–773.
- Fazio F., Marafioti S., Arfuso S., Piccione G., Faggio C. Comparative study of the biochemical and hematological parameters of four wild Tyrrhenian fish species. *Vet. Med.*, 2013, vol. 58, pp. 576–581. <https://doi.org/10.17221/7139-VETMED>
- Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, no. 1, pp. 497–509.
- Fuentes A., Fernandez-Segovia I., Serra J.A., Barat J.M. Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food Chem.*, 2010, vol. 119, pp. 1514–1518.
- Golodets G.G. Laboratornyj praktikum po fiziologii ryb [Laboratory practical work on fish physiology]. Moscow, Pishchepromizdat, 1955. 90 p. (In Russian)
- Golovina N.A. Morphofunctional characteristics of the blood of fish – objects of aquaculture. *Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss.* Moscow, VNIIPRH, 1996. 53 p. (In Russian)
- Gonzalez S., Flick G.J., O'Keefe S.F., Duncan S.E., McLean E., Craig S.R. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*). *J. Food Compos. Anal.*, 2006, vol. 19, pp. 720–726.

- Gorbenko E.V., Dahno L.G., Pavlyuk A.A., Sergeeva S.G. Sostoyanie proizvoditelej sudaka i tarani i obespechenost' imi nerestovo-vyrostnyh hozyajstv pojmennogo tipa Krasnodarskogo kraja [Status of spawners of zander and ruff and provision of spawning and nursery farms of the floodplain type of the Krasnodar Territory with them]. *Trudy AzNIIRH. [Proc. Azov Res. Inst. of Fisheries]*. Rostov on Don, 2019. Issue 2. pp. 201–209. (In Russian)
- Hard J.J., Berejikian B.A., Tezak E.P., Schroder S.L., Curtis M., Knudsen L., Parker T. Evidence for morphometric differentiation of wild and captive reared adult coho salmon: a geometric analysis. *Environ. Biol. Fishes*, 2000, vol. 58, pp. 61–73.
- Ivanova N.T. Atlas kletok krovi ryb (sravnitel'naya morfologiya i klassifikaciya formennyh elementov krovi ryb) [Atlas of fish blood cells (comparative morphology and classification of blood cells in fish)]. Moscow, Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1983. 184 p. (In Russian)
- Jankowska B., Zakes Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. A comparison of selected quality features of the tissue and slaughter field of wild and cultivated pikeperch *Sander lucioperca* (L.). *Eur. Food Res. Technol.*, 2003, vol. 217, pp. 401–405.
- Jankowska B., Zakęs Z., Żmijewski T., Szczepkowski M. Fatty acid composition of wild and cultured northern pike (*Esox lucius*). *J. Appl. Ichthyol.*, 2008, vol. 24, pp. 196–201.
- Johnston I.A., Li X., Vieira V.L.A., Nickell D., Dingwall A., Alderson R., Campbell P., Bickerdike R. Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon. *Aquaculture*, 2006, vol. 256, pp. 323–336.
- Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females. *Animal*, 2018, vol. 12, pp. 2335–2346.
- Kikuchi K., Furuta T., Iwata N., Onuki K., Noguchi T. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Aquaculture*, 2009, vol. 298, pp. 111–117.
- Knyazeva L.M. Rekomendacii po uvelicheniyu sroka hraneniya granulirovannogo korma dlya molodi foreli putem opryskivaniya ego vodnym rastvorom vitamina C [Recommendations for increasing the shelf life of trout fry pellets by spraying them with an aqueous solution of vitamin C]. Leningrad, GosNIORH, 1979. 12 p. (In Russian)
- Korolev A.E. Energeticheskij balans i raciony molodi sudaka i pelyadi pri ih sovmestnom vyrashchivanii v prudu [Energy balance and diets of juvenile zander and pike when they are reared together in a pond]. *Trudy GosNIORH [Proc. Inst. of River and Lake fisheries]*. Leningrad, 1984, Issue 222. pp. 21–30. (In Russian)
- Kostyleva A.A., Flerova E.A. Features of the chemical composition of the muscle tissue of the bream *Abramis brama* of the Gorky reservoir. *Voprosy rybolovstva*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 412–418. (In Russian)
- Kudersky L.A. Long-term changes in fish catches in the eastern part of the Gulf of Finland. *Voprosy rybolovstva*, 2000, vol. 1, no. 2–3, pp. 23–24. (In Russian)
- Kuzina T.V. Analysis of hematological parameters of zander of the Volga-Caspian Canal. *Estestvennye nauki*, 2009, vol. 4, pp. 96–100. (In Russian)
- Lilly R. Histopathological technique and practical histochemistry. Moscow, Mir, 1969. 645 p. (In Russian)
- Ljubojevic D., Trbovic D., Lujic J., Bjelic-Cabrilo O., Kostic D., Novakov N., Cirkovic M. Fatty acid composition of fishes from inland waters. *Bulgar. J. Agric. Sci.*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 62–71.
- Ljutikov A.A. Comparative Characteristics of the Size–Weight Parameters and Lipid Composition of Wild and Cultured Eggs of the Muksun *Coregonus muksun* (Pallas, 1814). *Contemporary Problems of Ecology*, 2022, vol. 15, no. 1, pp. 83–90. doi: 10.1134/S199542552201005X
- Ljutikov A.A., Korolev A.E. Determination of the optimal indicators of body weight, stocking density, rearing temperature regime and feed composition during adaptation of juvenile zander (*Sander lucioperca*) from ponds to industrial conditions. *Voprosy rybolovstva*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 61–82. (In Russian)
- Ljutikov A.A., Korolev A.E. Determination of the optimal weight and stocking density of juvenile zander (*Sander lucioperca*) when transferring from ponds to industrial conditions. *Voprosy rybolovstva*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 188–202. (In Russian)
- Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu gematologicheskogo obsledovaniya ryb, utverzhdennye Departamentom veterinarii ot 2 fevralya 1999 g. № 13–4–2/1487 [Guidelines for conducting hematological examination of fish, approved by the Department of Veterinary Medicine dated February 2, 1999 No. 13-4-2 / 1487]. *Collection of instructions for the fight against fish diseases*. Moscow, Otdel marketinga AMB-agro, 1999, pp. 69–97. (In Russian)
- Mikheev P.V., Meisner E.V., Mikheev V.P. Cage fish farming in reservoirs. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1970. 159 p. (In Russian)
- Mikodina E.V., Sedova M.A., Chmylevsky D.A., Mikulin A.E., Pyanova S.V., Poluektova O.G. Histology for ichthyologists: experience and advice. Moscow, Izd. VNIRO 2009, 112 p. (In Russian)
- Movahed R., Khara H., Ahmadnezhad M., Sayadboorani M. Hematological characteristics associated with parasitism in Pikeperch *Sander lucioperca* (Percidae) from Anzali Wetland. *J. Parasit. Dis.*, 2015, vol. 40, pp. 1337–1341.
- Nefedova Z.A., Murzina S.A., Pekhoeva S.N., Voronin V.P., Nemova N.N. Comparative Characteristics of the Fatty Acid Composition of Lipids in Factory and Wild Juveniles of Atlantic Salmon *Salmo salar*. *Contemporary Problems of Ecology*, 2020, vol. 13, no. 2, pp. 156–161.

- Norambuena F., Estevez A., Bell G., Carazo I. Duncan N. Proximate and fatty acid compositions in muscle, liver and gonads of wild versus cultured broodstock of Senegalese sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 2012, vol. 356, pp. 176–185.
- Ostrikov A.N., Gorbatova A.V., Anikin A.A., Kopylov M.V. Analysis of the fatty acid composition of rapeseed oil. *Maslozhirovaya promyshlennost*, 2016, vol. 6, pp. 18–21. (In Russian)
- Ostroumova I.N. Biological basis of fish feeding. St. Petersburg, Izd. GosNIORH, 2012. 564 p. (In Russian)
- Ostroumova I.N. Guidelines for the use of a blood test to assess the quality of rearing of juvenile salmon. Leningrad, Izd. GosNIORH, 1966. 11 p. (In Russian)
- Parrino V., Cappello T., Costa G., Cannavà C., Sanfilippo M., Fazio F., Fasulo F., Comparative study of hematology of two teleost fish (*Mugil cephalus* and *Carassius auratus*) from different environments and feeding habits. *Eur. Zool.*, 2018, vol. 85, pp. 193–199. <https://doi.org/10.1080/24750263.2018.1460694>
- Payuta A.A., Flerova E.A. Some indicators of metabolism in the muscles, liver, and gonads of pike-perch *Sander lucioperca* and sibel *Pelecus cultratus* from the Gorky Reservoir. *Journal of Ichthyology*, 2019, vol. 59, no. 2, pp. 255–262.
- Poltavchuk M.A. Biology and breeding of the Dnieper pike perch in closed reservoirs. Kyiv, Naukova Dumka, 1965. 259 p. (In Russian)
- Pravdin I.F. Guide to the study of fish. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1966. 376 p. (In Russian)
- Puchkov N.V. Physiology of fish. Moscow, Pishchepromizdat, 1954. 370 p. (In Russian)
- Rodriguez-Barreto D., Jerez S., Cejas J.R., Martin M.V., Acosta N.G., Bolacos A., Lorenzo A. Comparative study of lipid and fatty acid composition in different tissues of wild and cultured female broodstock of greater amberjack (*Seriola dumerili*). *Aquaculture*, 2012, vol. 360–361, pp. 1–9.
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B.S., Kim D.H. Overfeeding-induced obesity could cause potential immuno-physiological disorders in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*, 2020, vol. 10, P. 1499–1506.
- Ruuhijärvi J., Hyvärinen P. The status of pike-perch culture in Finland. *J. Appl. Ichtiol.*, 1996, vol. 12 (3–4), pp. 185–188.
- Rzhavskaya F.M. Fats of fish and marine mammals. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1976. 470 p. (In Russian)
- Sargent J.R., Bell J.G., Bell M.V., Henderson R.J., Tocher D.R. The metabolism of phospholipids and polyunsaturated fatty acids in fish. *Aquaculture: Fundamental and Applied Research. Coastal Estuarine Studies*. Washington, USA, American Geophysical Union (AGU), 1993, vol. 43, pp. 103–124.
- Schulz C., Bódís M. Rearing and feeding management of pikeperch (*Sander lucioperca*) in intensive systems. *World Aquaculture*, 2008, vol. 17–21.
- Shumilina A.K., Yakubets T.G. The influence of fat content on the reproductive performance of peled males under industrial conditions. *Racionalnoe ispolzovanie presnovodnykh ehkositsem perspektivnoe napravlenie nacionalnogo proekta "Razvitie APK". 2007 Moskva* [Rational use of freshwater ecosystems is a promising direction of the national project "Development of the Agro-Industrial Complex" (2007, Moscow). *Proc. Int. Conf.*. Moscow, Izd. Rossel'hozakademiya, 2007, pp. 17–19 (In Russian)
- Shurukhin A.S., Lukin A.A., Pedchenko A.P., Titov S.F. The current state of the fish industry and the efficiency of the use of the raw material base of the Gulf of Finland of the Baltic Sea. *Trudy VNIRO [Proc. Inst. of Fisheries and Oceanography]*. Moscow, 2016. Issue 160. pp. 60–69. (In Russian)
- Steffens W. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review. *J. Appl. Ichtiol.*, 1996, vol. 12 (3–4), pp. 167–170.
- Steffens W., Wirth M. Influence of nutrition on the lipid quality of pond fish: common carp (*Cyprinus carpio*) and tench (*Tinca tinca*). *Aquaculture International*, 2007, vol. 15, pp. 313–319.
- Vylka M.M. Blood parameters of yearlings and two-year-olds of zander *Sander lucioperca* grown in ponds and cages. *Materialy IX Nauchno-prakticheskoy konferencii molodykh uchyonykh, posvyashchennoj 140-letiyu VNIRO* [Materials of the scientific and practical conference of young scientists dedicated to the 140th anniversary of VNIRO]. Moscow, Izd. VNIRO, 2021, pp. 44–46. (In Russian)
- Wang X., Li Y., Hou C., Gao Y., Wang Y. Physiological and molecular changes in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea* R.) with high-fat diet-induced fatty liver disease. *Aquac. Res.*, 2015, vol. 46, pp. 272–282.
- Yildiz M., Şener E., Timur M. Effects of differences in diet and seasonal changes on the fatty acid composition in fillets from farmed and wild sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, vol. 43, pp. 853–858.
- Zabotkina E.A., Lapirova T.B., Serednyakov V.E., Nesterova T.A. Ecological plasticity of hematological parameters of freshwater bone fish. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2015, Issue 72, pp. 16–29. (In Russian)
- Zhiteneva A.D., Makarov Eh.V., Rudnitskaya O.A., Mirzoyan A.V. Fundamentals of ichthyohematology (in a comparative aspect). Rostov on Don, 2012, Izd. AzNIIRH, 320 p. (In Russian)

PHYSIOLOGICAL STATE OF ONE-YEAR-OLD AND TWO-YEAR-OLD PIKEPERCH (*SANDER LUCIOPERCA*) AFTER WINTERING IN CAGES AND PONDS

A. A. Lyutikov¹, A. E. Korolev¹, A. K. Shumilina¹, M. M. Vylka¹, A. G. Selyukov², E. I. Kurdina²,
Yu. A. Baskakova³, R. V. Artemov³

¹ Saint-Petersburg branch of the "Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography" (VNIRO).
199053, Saint-Petersburg Makarova emb., 26. e-mail: tokmo@mail.ru

² Tyumen State University – TyumSU,
625003, Tyumen st. Volodarsky, 6, e-mail: ags-bios@yandex.ru

³ Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography (VNIRO),
107140, Moscow, st. Verkhnyaya Krasnoselskaya, 17, e-mail: protein@vniro.ru

Studies of the physiological state of one-year-old and two-year-old pikeperch after wintering in fish farming cages and ponds have shown significant differences in mass-size, chemical, hematological and histophysiological parameters of fish. For pikeperch of both ages, significant differences were observed in the form of higher values of the liver index in farmed fish (1.63% vs. 1.33% in one-year-olds and 2.79% vs. 1.16% in two-year-olds), abdominal fat index (0.96% vs. 0.39% in one-year-olds and 7.88% vs. 0.44% in two-year-olds), vitamin C (76.5% vs. 18.9% in one-year-olds and 69.9% vs. 12.3% in two-year-olds), in the shift of the balance of the fatty acid status of body lipids towards the accumulation of MUFAs – monounsaturated fatty acids (39.61% vs. 27.47% of the total fatty acids in one-year-olds and 54.34% vs. 39.90% of the total fatty acids in two-year-olds), a decrease in the proportion of physiologically active acids of the n-3 series (21.60% vs. 22.53% of the total fatty acids in one-year-olds and 12.19% vs. 17.70% of the total fatty acids in two-year-olds), and a significant decrease in hemoglobin (65.2 g /l vs. 76.5 g /l) and MCH – the average content of hemoglobin in the erythrocyte (28.4 vs. 33.9 pictograms, pg) in one-year-olds and a tendency to decrease these indicators in two-year-olds (68.7 g /l vs. 73.5 g /l hemoglobin and 31.7 pg vs. 35.6 pg, respectively). More pronounced differences in the studied parameters are characteristic of older pikeperch from fish farms, relative to fish from ponds. Two-year-old pikeperch reared in cages of a fish farm are characterized by significantly greater length (21.10 vs. 18.78 cm) and body weight (89.50 vs. 68.97 g), high content of body lipids (8.75 vs. 2.05%), dry matter (30.8 vs. 23.4%) and BEV – nitrogen-free extractives (4.11 versus 1.55%). Two-year-old pikeperch reared in cages of a fish farm are characterized by significantly greater length (21.10 cm vs. 18.78 cm) and body weight (89.50 g vs. 68.97 g), high content of body lipids (8.75% vs. 2.05%), dry matter (30.8% vs. 23.4%) and NFE – nitrogen-free extractives (4.11% versus 1.55%). In addition, two-year-olds (females) in industrial conditions had more developed gonads with a similar gonadosomatic index with pikeperch from ponds (0.20 and 0.23, respectively) – active formation of a reserve fund of germ cells and the presence of oocytes of various size groups were observed in the ovaries of farmed fish. Certain distinctions in pikeperch of different ages after wintering in fish farming cages and ponds are related to different conditions of keeping and feeding fish.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, broodstock, industrial aquaculture, artificial feed, ponds, physiological state, morphophysiology

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДЫ ОЗЕРА СЕВАН В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛЬНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ

**Р. Э. Авалян¹, А. Л. Атоянц¹, Л. Р. Гамбарян^{1,2},
Э. А. Агаджанян¹, Б. К. Габриелян², Р. М. Арутюнян¹**

¹Ереванский государственный университет, НИИ “Биология”, кафедра Экологии
0025, Армения, г. Ереван, ул. Чаренца, д. 8,

²НЦ Зоологии и гидроэкологии, институт Гидроэкологии и ихтиологии НАН РА
0014, Ереван, ул. П. Севака, 7.

e-mail: re_avalan@mail.ru; genetika@ysu.am

Поступила в редакцию 5.04.2022

Проведено биотестирование уровня генотоксичности и кластогенности глубинных и поверхностных вод оз. Севан (Армения) в летний период с применением двух тест-систем: модельного тест-объекта традесканции (клон 02) и фитопланктона. По данным биотеста волосков тычиночных нитей традесканции (Трад-ВТН) показано достоверное повышение уровня мутационных событий во всех изученных водных пробах по сравнению с условно фоновым вариантом. Максимальное проявление рецессивных мутаций наблюдалось в образце Гилли, где значения изученного параметра превысили уровень фона в 5 раз. По данным двух основных тест-критериев микроядерного теста (Трад-МЯ: процент тетрад с микроядрами и микроядер в тетрадах), максимальная частота изученных показателей выявлена в водных пробах Цапатах и Арпа, где их уровень был выше фона в 4 раза. Показана достоверная положительная корреляция между уровнями РМС (рецессивные мутации) и БМС (бесцветные мутации) и концентрацией Са, К, Na, Mg, Fe, Mo, а также – между НВ (карликовые-невыжившие волоски тычиночных нитей) и концентрацией Cd и Co в изученных водных образцах ($p < 0.05$; $p < 0.001$). Кроме того, была установлена положительная корреляция между частотой тест-критериев микроядерного теста и концентрацией Na, Са, Fe, Mo, Ni, Cd ($p < 0.05$). Анализ пространственного распределения фитопланктона по акватории оз. Севан, а также данные о численности, биомассе и составе его доминирующих видов в летний период показал интенсивное развитие цианобактерий и зеленых водорослей по всей акватории озера, что вызвало цветение воды (ВЦВ) в исследуемых мониторинговых пунктах (особенно Д-модельный, Шоржа, Гилли и Цапатах), которое характеризует наличие процессов эвтрофирования в озере.

Ключевые слова: биотестирование, традесканция (клон 02), генотоксичность, кластогенность, загрязнение воды, биоиндикация, фитопланктон, вредоносные цветения цианобактерий (ВЦВ).

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-26-37

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с интенсивностью техногенных нагрузок на водные ресурсы актуальным является проведение генетического и гидробиологического мониторинга состояния гидросистем с привлечением чувствительных тест-систем. Озеро Севан – крупнейший высокогорный пресноводный водоем Южного Кавказа, который является не только хранилищем запасов пресной воды, но и – объектом культурного наследия и туризма Армении. В результате понижения уровня воды более чем на 20 м наблюдалось нарушение режимов температуры, кислорода, прозрачности; увеличение количественных показателей содержания биогенов (нитраты, фосфаты), что привело к повышению трофности водоема и, соответственно, ухудшению качества воды озера. После принятия закона об улучшении состояния оз. Севан (2001 г.) начался новый этап восстановления его лимносистемы путем повышения уровня воды. Важной мерой для улучшения экологического

состояния стало недопущение отрицательного водного баланса, уменьшение хозяйственной деятельности и постоянный контроль за антропогенной нагрузкой водосбора [Экология озера Севан..., 2010 (Ekologiya ozera Sevan..., 2010); Матишов и др., 2016 (Matishov et al., 2016); Озеро Севан. Экологическое состояние..., 2016 (Ozero Sevan. Ekologicheskoe sostoyanie..., 2016)].

В последнее время в некоторых районах оз. Севан наблюдается цветение воды в связи с массовым распространением синезеленых водорослей (цианобактерий). По данным гидроэкологических наблюдений (2019–2021 гг.) масштабное цветение воды начиналось в прибрежной части Большого Севана (особенно, в пунктах Гилли и Цапатах), распространяясь на глубоководные участки. Цветение в озере вызывали в основном виды рода цианобактерий *Dolichospermum/Anabaena*, которые являются потенциально токсичными. В этот период сотрудниками НЦЗГ ин-та Гидроэколо-

гии и ихтиологии в сотрудничестве с немецкими коллегами, впервые было обнаружено присутствие токсинов: группы микроцистинов и анатоксина-а, как в глубоководных, так и в прибрежных частях озера [Gevorgyan et al., 2020; Hambaryan et al., 2020] (рис. 1).

Исследования выявили, что вследствие эвтрофикации изменялись физико-

химические показатели воды. В частности уменьшилась прозрачность воды и концентрация растворенного кислорода, в то время как концентрации ионов аммония, нитритов и фосфатов увеличились [Hambaryan et al., 2020, Sakharova et al., 2020].

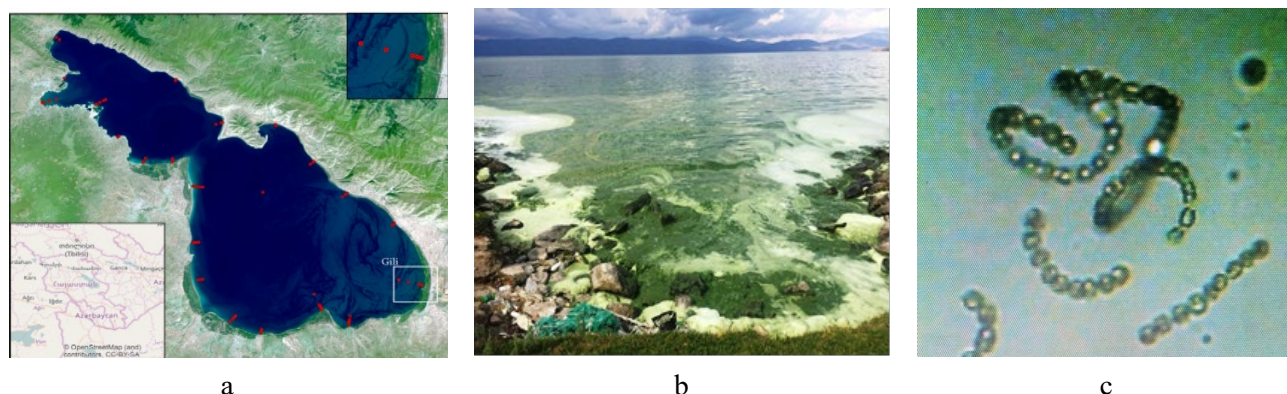


Рис. 1. Отдельные участки берега оз. Севан в период цветения цианобактерий: а) оз. Севан, мониторинговые точки водозабора; б) цветение воды оз. Севан; в) Виды рода *Dolichospermum/Anabaena*.

Fig. 1. Separate sections of the lake Sevan shore during the flowering of cyanobacteria: а) Lake Sevan, water monitoring points; б) Water bloom of Lake Sevan; в) Species of the genus *Dolichospermum/Anabaena*.

В связи с этим в республике были проведены комплексные исследования для оценки экологического состояния оз. Севан, показавшие необходимость постоянного мониторинга качества воды и состояния окружающей среды в прибрежных зонах его бассейна [Avalyan et al., 2017; Aghajanyan, 2020; Hambaryan, 2020; Арутюнян и др., 2021 (Aroutiounian et al., 2021)].

Использование традиционного подхода к оценке качества воды, основанного на определении только гидрохимических показателей, не позволяет определить качественные изменения в водной экосистеме. Для решения этого вопроса, как правило, используют методы биоиндикации и биотестирования с привлечением модельных тест-объектов. Гидроэкологическая индикация может дать сведения о степени, характере и распределении загрязнения в водоеме, а также – возможном состоянии водной экосистемы в сезонном масштабе. Генетический мониторинг на основе результатов биотестирования с привлечением чувствительных тест-систем позволяет определить степень суммарной техногенной нагрузки, являющейся эффектом комбинированного действия мутагенов и ксенобиотиков водной среды [Алексеевский, 1993 (Alekseyevskiy, 1993); Александрова, 2013 (Aleksandrova, 2013); Жукова и др., 2014 (Zhukova, 2014)].

Среди модельных растительных тест-объектов биотестирования следует особо выделить традесканцию (клон 02), использование которой позволяет оценить индукцию генетических нарушений под воздействием достаточно низких концентраций ксенобиотиков. [Yang, 1999; Campos, 2019]

Традесканция (клон 02) является природным межвидовым гибридом между *Tradescantia occidentalis* Britton Rudb. и *T. ohiensis* Raf., представляет собой гетерозиготное по окраске цветка растение: голубая окраска доминантный, розовая – рецессивный признак. Данный клон традесканции в качестве растительной тест-системы обладает рядом преимуществ для скрининга мутагенов и биоиндикации: высокой чувствительностью к действию ксенобиотиков, пригодностью для обнаружения как газообразных, так и водорастворимых мутагенов, возможностью проводить исследования *in situ* и одновременного изучения мутаций как в соматических, так и в спорогенных клетках на одних и тех же растениях.

В качестве основных маркерных тестов клона 02 традесканции при биотестировании используются: тест-система волосков тычиночных нитей (ВТН) для выявления соматических мутаций и морфологических изменений в ВТН (генотоксический эффект – тест Трад-ВТН), а также микроядерный тест для обнаружения нарушений процесса микроспо-

рогенеза с образованием микроядер (МЯ) в тетрадах микроспор (кластогенный эффект – тест Трад-МЯ).

При проведении биотеста Трад-ВТН в качестве индикаторных тест-критериев учитываются: изменение окраски клеток-волосков тычиночных нитей с голубых на розовые (рецессивные мутационные события – РМС) и появление бесцветных клеток (белые мутационные события – БМС). Кроме соматических мутаций (РМС и БМС) при тестировании также определяются морфологические изменения волосков – карликовые (невыжившие – НВ) и

разветвленные волоски (РВ), а также различные нарушения в строении цветка.

Применение микроядерного теста (Трад-МЯ) позволяет фиксировать появление хромосомных aberrаций (acentрические фрагменты или отстающие хромосомы), которые регистрируются в виде микроядер (МЯ) на стадии тетрад микроспор при нарушении процесса микроспорогенеза. При тестировании с применением данного теста учитываются два тест-критерия: процент тетрад с микроядрами и процент микроядер в тетрадах (рис. 2).

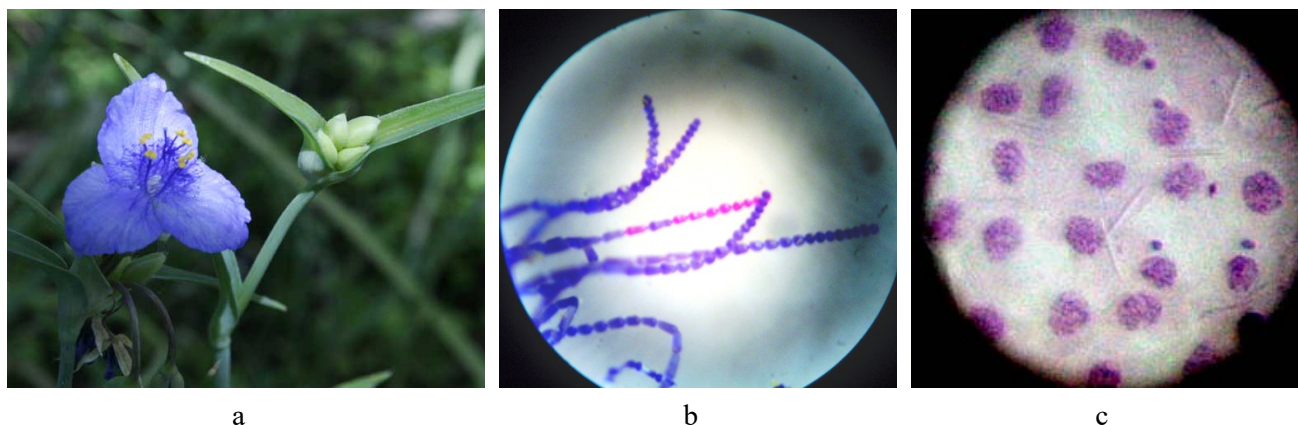


Рис. 2. Общий вид клона 02 традесканции и основные генетические маркеры: а) цветки и бутоны растения традесканции (клон 02); б) розовые мутационные события (рецессивные мутации) в волосках тычиночных нитей; в) Микроядра в тетрадах микроспор в спорогенных тканях традесканции.

Fig. 2. Tradescantia clone 02 and main genetic markers: a) Flowers and buds of *Tradescantia* plant (clone 02); b) Pink mutational events (recessive mutations) in the stamen hairs; c) Micronuclei in tetrads of microspore in sporogenous tissues of *Tradescantia*.

Оба биотеста входят в Международную программу по растительным тестам (IPRV) под эгидой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) [Grant, 1994].

Биоиндикация природной водной среды по состоянию ее биоты основана на наблюдении за составом и численностью видов-индикаторов. В качестве индикатора экспресс-оценки качества воды разнотипных водоемов весьма активно используется фитопланктон [Reynolds, 2002; Legrand, 2003; Salmaso, 2006; Gevorgyan, 2016].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

За исследуемый период проводились две серии мониторинговых наблюдений. Выполнялись работы по биотестированию водных образцов (с привлечением двух биотестов традесканции) и по биоиндикации состояния поверхностных вод в тех же водосборных пунктах на основе изучения состава, численности и биомассы фитопланктона.

Целью настоящего исследования являлось биотестирование уровня генотоксичности и кластогенности глубинных вод, а также биоиндикация поверхностных вод из точек водозабора (7) бассейна оз. Севан. В целях биотестирования применялись два биотеста (Трад-ВТН и Трад-МЯ) модельного тест-объекта традесканции (клон 02); а для биоиндикации – анализ наличия и распределения фитопланктона (микроводорослей) литоральной части оз. Севан.

Материалом исследования служили водные пробы бассейна оз. Севан из семи точек водозабора (мониторинговых трансект): район Д-модельный, Гаварагет, Шоржа (участок Малого Севана – МС), Цапатах, Арпа, Норадус, Гилли (участок Большого Севана – БС). Водные пробы были отобраны в летний период: для биотестирования – с глубины 2–4 м, а для биоиндикации изучались поверхно-

стные воды (0.5 м) в тех же пунктах водозабора (рис. 3).

Тестирование проводили по стандартным методикам [Ma et al., 1994 (a, b)] с использованием двух модельных тест-систем клонa 02 традесканции – системы волосков тычиночных нитей (тест Трад-ВТН) и микроядерного теста (тест Трад-МЯ). На каждый водный образец было просмотрено по 10–17 тыс. ВТН для теста Трад-ВТН и по 3000 тетрадей для теста Трад-МЯ. В исследуемых водных образцах определяли концентрации

химических элементов и тяжелых металлов (Ca, Na, K, Mg, Fe, Co, Mo, Ni, Cd). В качестве условно фонового образца (контроля) использовали водопроводную воду. Проводили корреляционный анализ между частотой мутационных событий в ВТН, а также частотой встречаемости микроядер в тетрадах микроспор и концентрацией химических элементов в исследуемых водных пробах. Все полученные результаты были статистически обработаны с применением компьютерной программы *Statgraphics Centurion 16. 2*.

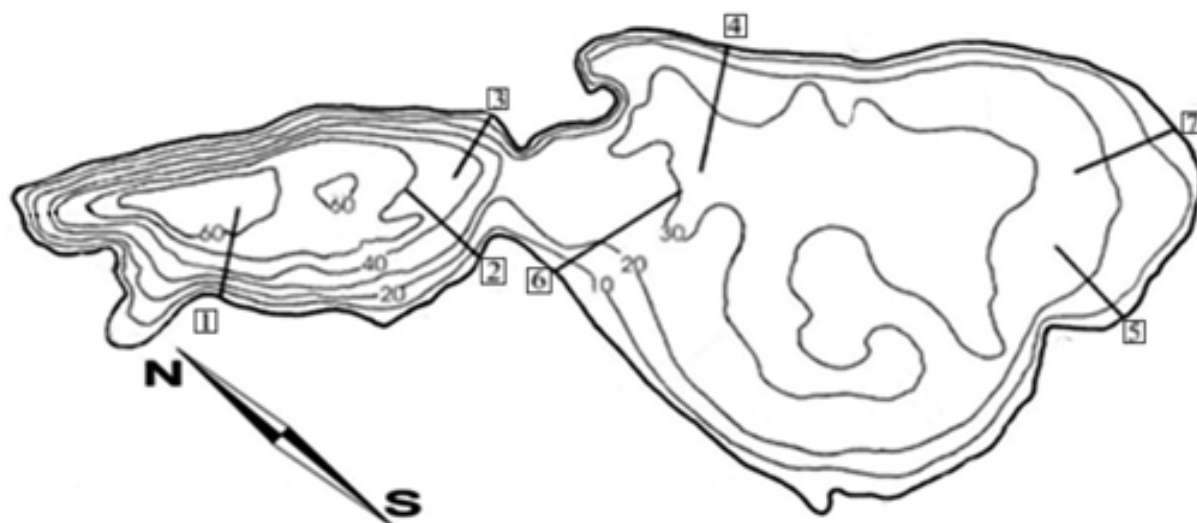


Рис. 3. Карта-схема расположения пунктов водозабора водных образцов и проб фитопланктона оз. Севан. 1 – Д-модельный; 2 – Гаварагет; 3 – Шоржа; 4 – Цапатах; 5 – Арпа; 6 – Норадус; 7 – Гилли.

Fig. 3. Map-scheme of water samples points location and phytoplankton sampling points of Lake Sevan. 1 – D-model; 2 – Gavaraget; 3 – Shorzha; 4 – Tsapatach; 5 – Arpa; 6 – Noradus; 7 – Gilli.

Для анализа наличия и изучения фитопланктона водные пробы отбирались с поверхности семи мониторинговых трансект из двух частей оз. Севан (МС и БС), расположенных параллельно береговой зоне, в летний период. Пробы воды консервировали 40%-ным раствором формальдегида и выдерживали в темном месте в течение 10–12 дней. Затем объем пробы уменьшали с 1000 мл до 100 мл, повторяя этот же процесс, объем образцов был уменьшен до 10 мл. [Абакумов, 1983 (Abakumov, 1983)]. Одновременно с определением

численности, проводили измерения массовых клеток фитопланктона. Биомассу вычисляли на основании индивидуальных размеров клеток методом геометрического подобия. Качественный и количественный анализ фитопланктона проводили под световым микроскопом Motis в камере Нажотта ($V = 0.1$ мл). Таксономические группы фитопланктона определяли с помощью определителей [Linne von Berg et al., 2012; Гамбарян и др., 2014 (Hambaryan et al, 2014)].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований представлены результаты биотестирования воды оз. Севан с использованием основных тест-маркеров традесканции и биоиндикации на основе изучения численности, биомассы и состава доминирующих видов фитопланктона в летний период 2018 г. Для оцен-

ки возможной зависимости изучаемых эффектов от содержания химических элементов был проведен гидрохимический анализ состава воды изучаемых образцов, компонентный состав которых представлен в табл. 1. Все изученные параметры по своему значению

не превышали предельно допустимые нормативы (ПДК) для водных объектов.

Определение уровня генотоксичности водных образцов оз. Севан по результатам биотеста Трад-ВТН показало, что во всех изученных вариантах наблюдалось достоверное повышение частоты соматических мутаций (РМС и БМС), а также морфологических нарушений в ВТН типа НВ по сравнению с условно фоновым образцом. Уровень РМС превысил фоновый в 1.5–5 раз в зависимости

от водной пробы (рис. 4). Наибольшая частота соматических мутаций отмечалась в образце Гилли, превысив уровень фона в 5 раз. В вариантах Цапатах, Арпа и Норадус (пункты БС) проявление генотоксических эффектов (точковых мутаций) находилось на одном уровне и превышало фоновый в 1.5 раза. Частота встречаемости БМС во всех изученных вариантах была выше фонового уровня в 1.5–5.5 раза, с максимальным повышением в образцах Цапатах и Норадус.

Таблица 1. Содержание некоторых химических элементов в пробах воды оз. Севан

Table 1. The content of some chemical elements in water samples of Lake Sevan

Варианты проб Sampling sites	pH	Ca ²⁺ мг/л/ mg/L	Na ⁺ мг/л/ mg/L	K ⁺ мг/л/ mg/L	Mg мг/л/ mg/L	Fe мг/л/ mg/L	Cr мг/л/ mg/L	Mo мг/л/ mg/L	Ni мг/л/ mg/L	Cd мг/л/ mg/L	Co мг/л/ mg/L
Д-модельный D-model	8.2	27.6	54.2	14.0	33.9	0.05	0.003	0.003	0.001	0.0001	0.002
Гаварагет Gavaraget	8.1	28.4	54.9	14.2	33.8	0.06	0.002	0.003	0.001	0.0001	0.002
Шоржа Shorzha	8.4	31.5	68.1	16.1	42.4	0.14	0.003	0.004	0.001	0.0001	0.002
Цапатах Tsapatach	8.3	31.4	71.9	15.8	48.6	0.12	0.002	0.004	0.002	0.0002	0.003
Арпа Agra	8.8	34.3	72.5	17.5	48.4	0.14	0.003	0.004	0.002	0.0001	0.001
Норадус Noradus	8.2	30.6	63.3	15.4	40.4	0.13	0.003	0.004	0.001	0.0001	0.002
Гилли Gilli	8.5	33.2	74.8	16.9	50.8	0.12	0.003	0.004	0.002	0.0001	0.001
Фон Background	7.5	12.9	8.5	1.9	5.8	0.008	0.007	0.001	0.001	0	0.001

Среди наблюдаемых морфологических нарушений в ВТН увеличение частоты встречаемости НВ отмечалось во всех изученных вариантах, и их значение превысило фоновый уровень в 2.5–11.5 раз в зависимости от водной пробы. Максимальное значение НВ проявился в вариантах Гаварагет и Цапатах, превысив контроль в 8 и 11.5 раза соответственно, что может свидетельствовать о наличии в данных образцах компонентов, обладающих повышенной тератогенной активностью, приводящей к снижению выживаемости соматических клеток ВТН традесканции.

При проведении корреляционного анализа между уровнем соматических мутаций и концентрациями химических элементов в водных образцах по результатам теста трад-ВТН отмечена достоверная положительная корреляция между уровнем РМС и концентрацией в водных пробах ионов Ca, K, Na, Mo, Fe, Mg, Ni ($p < 0.05$); уровнем БМС и

концентрацией Ca, K, Na, Mo, Fe, Mg, Cd ($p < 0.05$; $p < 0.001$); а также – между значениями НВ и концентрацией Cd и Co ($p < 0.001$) в изученных образцах.

Изучение кластогенных эффектов в спорогенных клетках традесканции по данным теста Трад-МЯ показало увеличение частоты обоих тест-критериев в 1.5–4 раза во всех изученных вариантах по сравнению с фоновым уровнем в зависимости от водного образца. Наибольшая частота встречаемости МЯ наблюдалась в вариантах Арпа и Цапатах, где оба тест-критерия превышали уровень фона в 4 раза (рис. 5).

На основании проведенного корреляционного анализа по данным теста Трад-МЯ показана достоверная положительная корреляция между значениями обоих тест-критериев и концентрацией химических элементов – Na, Ca, Fe, Ni, Mo, Cd ($p < 0.05$) в исследуемых водных пробах (табл. 2).

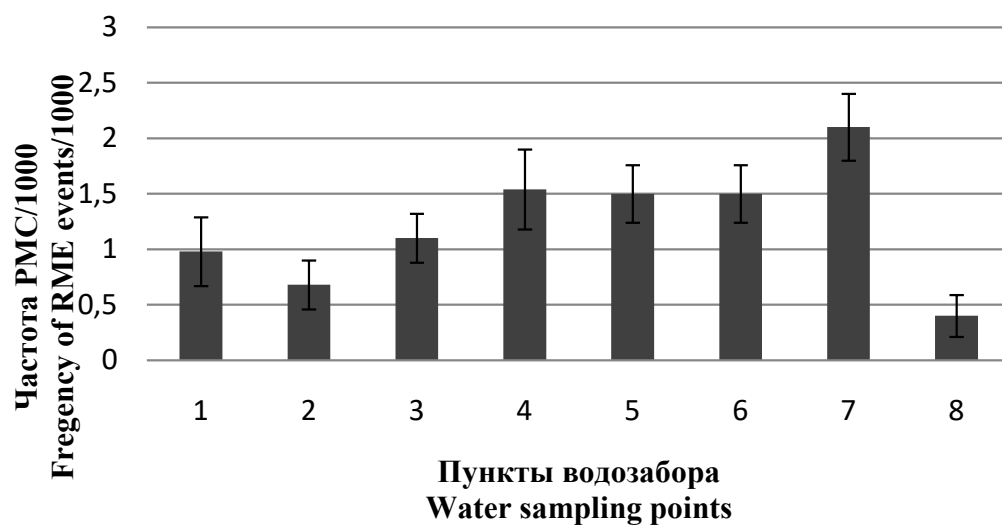


Рис. 4. Частота генотоксических эффектов в соматических клетках традесканции (клон 02): 1 – Д-модельный; 2 – Гаварагет; 3 – Шоржа; 4 – Цапатах; 5 – Арпа; 6 – Норадус; 7 – Гилли; 8 – фон.

Fig. 4. Frequency of genotoxic effects in the somatic cells of *Tradescantia* (clone 02): 1 – D-model; 2 – Gavaraget; 3 – Shorzha; 4 – Tsapatach; 5 – Arpa; 6 – Noradus; 7 – Gilli; 8 – background.

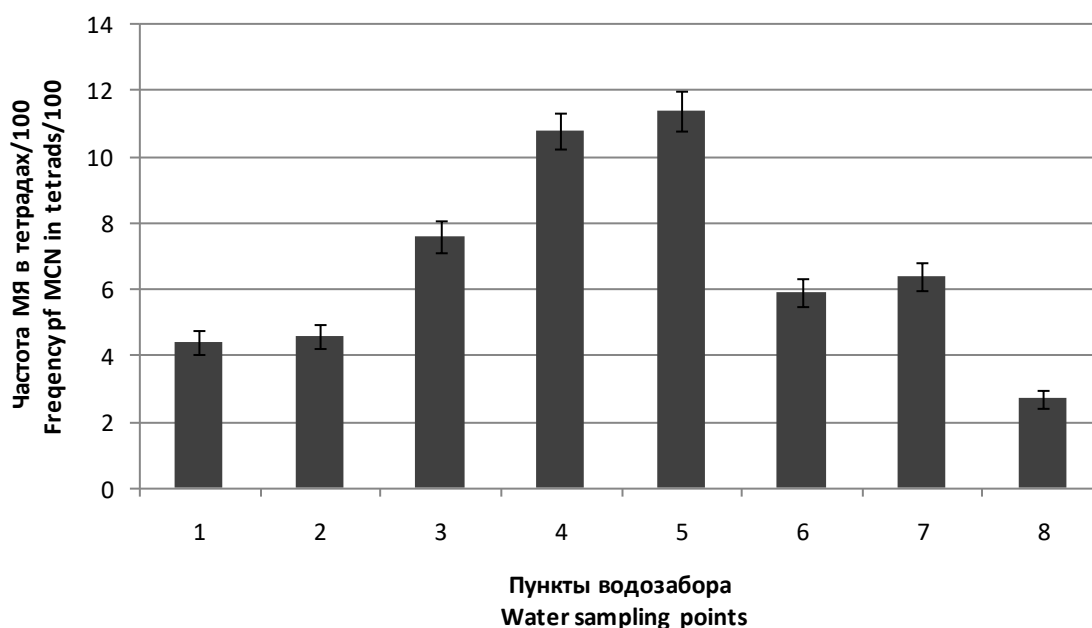


Рис. 5. Частота кластогенных эффектов в спорогенных клетках традесканции (клон 02): 1 – Д-модельный; 2 – Гаварагет; 3 – Шоржа; 4 – Цапатах; 5 – Арпа; 6 – Норадус; 7 – Гилли; 8 – фон.

Fig. 5. Frequency of clastogenic effects in the sporogenic cells of *Tradescantia* (clone 02): 1 – D-model; 2 – Gavaraget; 3 – Shorzha; 4 – Tsapatach; 5 – Arpa; 6 – Noradus; 7 – Gili; 8 – background.

Таблица 2. Коэффициент корреляции (r) между РМС/БМС/НВ, а также МЯ в тетрадах и тетрад с МЯ и концентрацией химических элементов в водных образцах оз. Севан**Table 2.** The coefficient of correlation (r) between PC/ CC/ SH, also MN in tetrads and tetrads with MN and concentration of chemical elements in the water samples of Lake Sevan

Химические компоненты Chemical components	РМС PC	БМС CC	НВ SH	МЯ в тетрадах MN in tetrads	Тетрады с МЯ Tetrads with MN
Ca	0.77*	0.79*	0.34	0.75	0.74
Na	0.80*	0.83*	0.40	0.76	0.74
K	0.76*	0.78*	0.38	0.65	0.67
Mg	0.85*	0.84*	0.38	0.76*	0.77*
Fe	0.78*	0.93**	0.12	0.79*	0.76*
Cr	0.43	-0.59	-0.68	-0.46	-0.51
Mo	0.84*	0.89**	0.32	0.77*	0.78*
Ni	0.76*	0.53	0.21	0.76*	0.76*
Cd	0.54	0.74	0.82*	0.75*	0.78*
Co	-0.02	0.40	0.84*	0.25	0.31

Примечание. “*” – достоверно при $p < 0.05$; “**” – достоверно при $p < 0.001$.

Note. “*” – significantly at $p < 0.05$; “**” – significantly at $p < 0.001$.

Одним из основных индикаторных показателей структуры фитопланктона является его количественное развитие (численность и биомасса). Изменения, происходящие за последнее время в литоральной зоне оз. Севан и его бассейна, создали предпосылки для необходимости изучения горизонтального распределения, количественного развития, сукцессии и цветения различных видов фитопланктона и взаимовлияния этих процессов на всю экосистему озера [Hambaryan, 2020]. За исследуемый период в планктоне было выявлено более 100 основных видов, из которых 86 являются биоиндикаторами органического загрязнения водной среды.

В ходе исследований выявлено интенсивное летнее цветение воды по всей акватории в обеих частях озера (МС и БС), которое было вызвано наличием потенциально токсичных форм цианобактерий рода – *Dolichospermum/Anabaena* как в литорали, так и в глубоководных участках озера. Развитие данного вида было количественно доминирующим, его доля составила 98.6% (БС) и 99.7% (МС) от общих количественных показателей фитопланктона.

Известно, что решающими факторами для цветения цианобактерий, рассматриваются концентрация биогенов и температура воды. Сезонная динамика концентраций минерального фосфора в воде оз. Севан, в исследуемый летний период превышала экологические нормы фосфатов (0.11 мг/л) для бассейна оз. Севан и колебалась от 0.12 до 0.17 мг/л, одновременно наблюдалось повышение температуры воды в озере, которая в разных пунктах составила 18–21°C [Novsepyan, 2019].

Максимальные показатели фитопланктона литорали (численность – 16 528 000 кл./л и биомасса – 66.1 г/м³) в МС, в период цветения были зарегистрированы в пунктах Шоржа и Д-модельный, что по данным показателям соответствует сильному цветению (рис. 5).

Изучение качественного состава выявило, что цветение воды вызывали виды: *Dolichospermum/Anabaena flos-aquae*, в меньшей степени встречались *Dolichospermum/Anabaena circinales* и *Dolichospermum/Anabaena lemmermanii*. По мере убывания интенсивности цветения наблюдалось увеличение количественных и качественных показателей зеленых водорослей, доминировал крупноклеточный вид *Oocystis solitaria*.

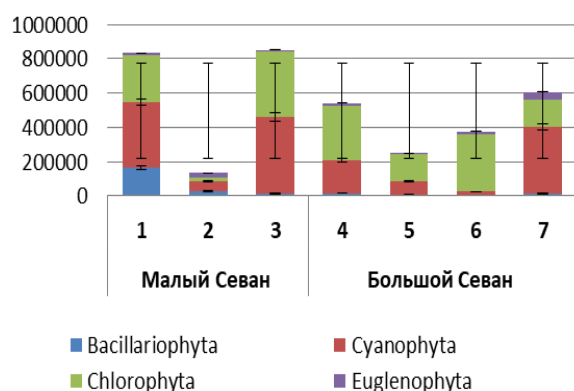
Изменения происходили также и в БС, где на фоне уменьшения показателей диатомовых и эвгленовых водорослей, наблюдалась сукцессия на уровне основных групп (рис. 5). Так доминантной группой по показателям численности и биомассе были зеленые водоросли, составляющие 54% и 81%, субдоминантами сообщества, по показателям численности были синезеленые водоросли – 39%, а по биомассе – эвгленовые водоросли и составляли 10% соответственно.

Доминантными были виды: зеленая *Oocystis solitaria* (пункт Норадус) и синезеленая *Dolichospermum/Anabaena flos-aquae* (пункты Гилли и Цапатах). Для БС максимальные показатели численности и биомассы фитопланктона в летний период составляли 3 080 000 кл./л и 9.5 г/м³ соответственно и наблюдались в пункте Гилли. Вероятно, массовое развитие цианобактерий на данной акватории, расположенной в устье р. Масрик, обусловлено сложившимися гидролого-гидрохимическими ус-

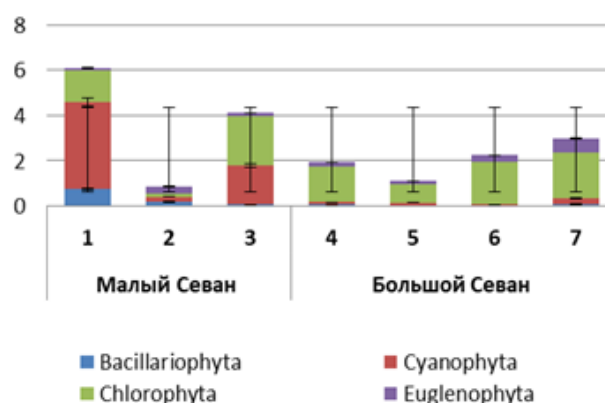
ловиями т.к. реки приносят в приустьевые участки большое количество органических и минеральных веществ).

Обобщая данные биотестирования показано генотоксическое и тератогенное действие исследуемых образцов оз. Севан в летний период на соматические клетки традесканции, которое выражается в достоверном повышении уровня рецессивных мутаций и морфологических нарушений типа НВ. Увеличение частоты формирования микроядер, как результат повреждения хромосом в период микроспорогенеза, свидетельствует о наличии кластогенного эффекта, оказываемого водными пробами озера на

спорогенные клетки традесканции. Таким образом, по результатам обоих биотестов выраженное повышение уровня генотоксичности и кластогенности за исследуемый период свидетельствует о загрязненности воды оз. Севан химическими элементами и тяжелыми металлами (Ca, Na, K, Mg, Fe, Mo, Ni, Cr, Co, Cd), а также цианотоксинами, выделяемыми потенциально токсичными цианобактериями в тестируемых точках, с наибольшим уровнем рецессивных мутаций в водном образце Гилли, а по значениям БМС и НВ, а также по показателям микроядерного теста – в пробе Цапатах.



а



б

Рис. 5. Динамика развития фитопланктона в летний период в разных пунктах мониторинга: а) Изменения численности (кл./л); б) Изменения биомассы (г/м³). 1 – Д-модельный; 2 – Гаварагет; 3 – Шоржа; 4 – Цапатах; 5 – Арпа; 6 – Норадус; 7 – Гилли.

Fig. 5. Dynamics of phytoplankton development in summer at different monitoring points: Quantity change (cell/l); б) Biomass change (g/m³). 1 – D-model; 2 – Gavaraget; 3 – Shorzha; 4 – Tsapatach; 5 – Arpa; 6 – Noradus; 7 – Gilli.

Следует отметить, что в результате биотестирования в образцах с акватории МС, несмотря на увеличение численности и биомассы фитопланктона, не зарегистрированы высокие уровни генетических параметров по сравнению с БС. Данный факт можно объяснить неодновременным цветением воды в БС и МС. Если рассматривать пространственно-временную динамику распространения фитопланктона по акватории оз. Севан, то начало цветения регистрируется вначале в БС, а затем – распространяется на МС. Так как водные образцы для исследования забираются одновременно, то, когда в БС уже заканчивается активная фаза цветения и начинаются процессы разложения фитопланктона, в МС наблюдается активная фаза цветения. Процесс эвтрофикации обусловлен повышенным содержанием биогенных веществ (минеральные и органические соединения фосфора, азота и др.), а после разложения микроводорослей, кроме биогенов в воде могут накапливаться также вторичные метаболиты

цианобактерий, которые также потенциально токсичны. Кроме того, микроводоросли, после разложения не исчезают, а опускаются на дно озера, где конечным результатом их распада становится накопление органических веществ. Возможно, именно этим, наряду с наличием в воде цианотоксинов, обусловлен высокий уровень генотоксичности образцов из БС (особенно, в вариантах Гилли и Цапатах).

По данным биоиндикационных исследований за период наблюдений основными группами фитопланктона оз. Севан были: *Cyanophyta* (синезеленые водоросли) и *Chlorophyta* (зеленые водоросли), наблюдалось угнетение развития *Bacillariophyta* (диатомовые водоросли). Также отмечены значительные изменения количественных показателей и качественного состава фитопланктона, непредсказуемые флуктуации и участвовавшее цветение потенциально токсичных видов цианобактерий в пунктах гидроэкологического мониторинга. Максимальные показатели по численности и

биомассе фитопланктона в летний период на участке МС наблюдались в пунктах: Д-модельный и Шоржа, а на участке БС – Гилли и Цапатах.

Различия наблюдаемых эффектов, по-видимому, обусловлены неравномерностью бытовых и техногенных нагрузок, изменениями физико-химических показателей воды

вследствие эвтрофикации, а также суммарным токсическим действием всего комплекса загрязняющих веществ, что могло привести к повышению уровня генетических эффектов в исследуемых водных образцах, а также к накоплению цианобактерий в водозаборных пунктах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований водных образцов оз. Севан показано, что пробы воды с акватории БС (Гилли и Цапатах) индуцируют повышенный уровень точковых мутаций (РМС) и морфологических нарушений типа НВ, а также – процент микроядер (в вариантах Цапатах и Арпа), что согласуется с данными гидробиологического анализа по увеличению численности и биомассы фитопланктона в этих водозаборных пунктах БС. Нахождение потенциально токсичных таксономических форм цианобактерий (синезеленая *Dolichospermum/Anabaena flos-aquae* и *D/A. circinales*) в пунктах Гилли и Цапатах является возможной причиной увеличения генотоксичности воды на исследуемых участках.

Но для более достоверной информации необходимо и целесообразно проведение дополнительного мониторинга на наличие других более токсичных компонентов в воде Севана (особенно, хлорорганических поллютантов и стойких органических загрязняющих веществ – СОЗ), поступающих с водостоком реки Масрик, загрязненной биогенными веществами, устье которой находится рядом с пунктом водозабора Гилли, а также – с коммунально-бытовыми и сельскохозяйственными

ми стоками с близлежащих прибрежных территорий БС.

Увеличение биогенного загрязнения экосистемы оз. Севан привело к неблагоприятным изменениям в фитопланктоне: рост биомассы, увеличение в составе сообщества потенциально токсичных цианобактерий и частых цветений, что наряду с другими показателями указывает на наличие процессов эвтрофирования. В целом, произошло ухудшение показателей качества воды, возросли экологические и токсикологические риски (накопление цианотоксинов в воде) для всей лимносистемы. В связи с этим необходимо проводить постоянный мониторинг и регулирование антропогенной нагрузки на экосистему оз. Севан, приводящей к его эвтрофикации, особенно для веществ, формирующихся под действием природных и антропогенных факторов.

Комплексные исследования по биотестированию и биоиндикации на основе генетического и гидробиологического мониторинга проводились в республике впервые, и в дальнейшем предполагается их продолжить для более эффективной и всесторонней оценки экологического состояния экосистемы оз. Севан.

Работа выполнена в рамках государственного целевого проекта Комитета по науке Министерства образования, науки, культуры и спорта Республики Армения “Исследование механизмов эвтрофикации озера Севан и разработка методов борьбы с явлениями “цветения” (№ 1-15/ ТВ-21 от 21.01.2021 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. С. 78–86.
- Александрова В.В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013. 119 с.
- Алексеевский Н.И. Генетический анализ качества воды. Москва: Изд-во МГУ. География, 1993. 135с.
- Арутюнян Р.М., Авалян Р.Э., Атоянц А.Л., Агаджанян Э.А., Габриелян Б.К. Биотестирование водных проб оз. Севан в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением модельного тест-объекта // Доклады АН Армении. 2021. Т. 121. № 4. С. 294–301.
- Гамбарян Л.Р., Шахазизян И.В. Краткий определитель родов пресноводных водорослей. Ереван: Изд-во ЕГУ. 2014. 61 с.
- Жукова А.А., Мاستицкий С.Э. Биоиндикация качества природной среды. Минск: Изд-во БГУ, 2014. 112 с.
- Матишов Г.Г., Селютин В.В., Месропян К.Э., Булышова Н.И., Шевердяев И.В., Арутюнян Р.М., Габриелян Б.К. Современное состояние и проблемы изучения озера Севан // Вестник Южного Научного Центра, 2016. Т. 12. № 2. С. 43–52. DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-58-70
- Озеро Севан. Экологическое состояние в период изменения уровня воды. Ярославль: Филигрань, 2016. 328 с.

- Экология оз. Севан в период повышения его уровня. Результаты исследований Российско-Армянской биологической экспедиции по гидроэкологическому обследованию оз. Севан (Армения). Махачкала: Наука, 2010. 348 с.
- Aghajanyan E., Avalyan R., Atoyants A., Khosrovyan A., Aroutiounian R. Assessing a Freshwater Ecosystem Using *Tradescantia* Model Test Object // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2020. № 231(2). P. 231–244. DOI: 10.1007/s11270-020-4407-3
- Avalyan R.E., Aghajanyan E.A., Khosrovyan A., Atoyants A.L., Simonyan, A.E., Aroutiounian, R.M. Assessment of mutagenicity of water from Lake Sevan, Armenia with application of *Tradescantia* (clone 02) // *Mutation Research*. 2017. Vol. 800. P. 8–13. DOI: 10.1016/j.mrfmmm.2017.03.006
- Campos C.F., Morelli S., De Campos Júnior E.O., Santos V.S.V., De Moraes C.R., Cunha M.C., Souto H.N., Pavanin L.A., Bonetti A.M., Pereira B.B. Assessment of the genotoxic potential of water courses impacted by wastewater treatment effluents using micronucleus assay in plants from the species *Tradescantia* // *J. Toxicol. Environ. Health A*. 2019. № 82(13). P. 752–759.
- Gevorgyan G., Rinke K., Schultze M. et al. First report about toxic cyanobacterial bloom occurrence in Lake Sevan, Armenia // *Int Rev Hydrobiol*. 2020. P. 1–12. DOI: 10.1002/iroh.202002060.
- Grant W.F. The present status of higher plant bioassay for the detection of environmental mutagens // *Mutation Research*. 1994. Vol. 310. № 2. P. 175–185. DOI: 10.1016/0027-5107(94)90112-0
- Hambaryan L., Khachikyan T., Ghukasyan E. Changes in the horizontal development of phytoplankton of the littoral of lake Sevan (Armenia) in conditions of water level fluctuations // *Limnology and Freshwater Biology*. 2020. № 4. P. 662–664. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-662SI:
- Hovsepyan A.A., Mamyas A.S., Khachikyan T.G., Tikhonova I.V., Sorokovikova E.G., Belykh O.I., Gevorgyan G.A. Monitoring of phytoplankton status in Lake Sevan (Armenia) in 2018 // *Proceedings of the Yerevan State University*. 2019. Vol. 53(3). P. 206–211.
- Legrand C., Rengefors K., Fistarol G.O., Graneli E. Allelopathy in phytoplankton – biochemical, ecological and evolutionary aspects // *Phycologia. Research Library*. 2003. Vol. 42. № 4. P. 406–419. DOI: 10.2216/i0031-8884-42-4-406.1
- Linne von Berg K.-H., Hoef-Emden K., Melkonian M. *Der Kosmos-Algenführer: Die wichtigsten Süßwasseralgen im Mikroskop*. Stuttgart: Kosmos, 2012. 368 s.
- Ma T.H., Cabrera G.L., Cebulski-Wasilewska A., Chen R., Loarca A.I., Vandenberg A.L., Salamone M.F. *Tradescantia* stamen hair mutation bioassay // *Mutation Research*. 1994. Vol. 310. № 2. P. 211–220. DOI: 0027-5107(94)00104-D
- Ma T.H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.S., Sandhu S.S., Vandenberg A.L., Salamone M.F., *Tradescantia* micronucleus bioassay // *Mutation Research*. 1994. Vol. 310, № 2. P. 220–230. DOI: 10.1016/0027-5107(94)90115-5
- Majer B.J., Grummi T., Uhl M., Knasmueller, S. Use of plant bioassay for the detection of genotoxins in the aquatic environment // *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*. 2005. Vol. 33. P. 45–55. DOI: 10.1002/ahch.200300557
- Reynolds C., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // *J. Plankton Res.* 2002. Vol. 24. P. 417–428. DOI: 10.1093/plankt/24.5.417
- Sakharova E.G., Krylov A.V., Sabitova R.Z., et al. Horizontal and vertical distribution of phytoplankton in the alpine Lake Sevan (Armenia) during the summer Cyanoprokaryota bloom // *Problems of Ecology*. 2020. Vol. 13 (1). P. 60–70. DOI: 10.1134/S1995425520010072
- Salmaso N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M. & Mosello R. Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 563. P. 167–187. DOI: 10.1007/s10750-005-0003-1
- Yang G. *Tradescantia*-micronucleus assay on the water quality of lake Hongzhe in Jiangsu Province, China // *Mutation Research*. 1999. Vol. 426. P. 155–157. DOI: S0027-5107(99)00047-0

REFERENCES

- Abakumov V.A. Guidance on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments. Leningrad, Gidrometeoizdat. 1983. P. 78–86. (in Russian)
- Aghajanyan E., Avalyan R., Atoyants A., Khosrovyan A., Aroutiounian R. Assessing a Freshwater Ecosystem Using *Tradescantia* Model Test Object. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2020, no. 231(2), pp. 231–244. doi: 10.1007/s11270-020-4407-3
- Aleksandrova V.V. Biotesting as a modern method for assessing the toxicity of natural and waste waters: Nizhnevartovsk, Nizhnevart Publishing House. State university. 2013. 119 c. (in Russian)
- Alekseyevskiy N.I. Genetical analysis of water quality. Geografiya. Moscow, MGU. 1993. 135 p. (in Russian).
- Aroutiounian R.M., Avalyan R.E., Atoyants A.L., Agajanyan E.A., Gabrielyan B.K. Biotesting of water samples from lake Sevan during water bloom and after treatment with zeolite using a model test object. *Reports of National Academy of Science of Armenia*, 2021, vol. 121, no. 4, pp. 294–301. (In Russian)
- Avalyan R.E., Aghajanyan, E. A., Khosrovyan, A., Atoyants, A.L., Simonyan, A. E., Aroutiounian, R. M. Assessment of mutagenicity of water from Lake Sevan, Armenia with application of *Tradescantia* (clone 02). *Mutation Research*, 2017, vol. 800, pp. 8–13. doi: org/10.1016/j.mrfmmm.2017.03.006
- Campos C.F., Morelli S., De Campos Júnior E.O., Santos V.S.V., De Moraes C.R., Cunha M.C., Souto H.N., Pavanin L.A., Bonetti A.M., Pereira B.B. Assessment of the genotoxic potential of water courses impacted by wastewater

- treatment effluents using micronucleus assay in plants from the species *Tradescantia*. *J. Toxicol. Environ. Health A.*, 2019, vol. 82(13), pp. 752–759.
- Ekologiya oz. Sevan v period povysheniya ego urovnya. Rezul'taty issledovaniy Rossijsko-Armyanskoj biologicheskoy ekspedicii po gidroekologicheskomu obsledovaniyu oz. Sevan (Armeniya) [Ecology of Lake Sevan during the period of its level increase. Research results of the Russian-Armenian biological expedition for hydroecological survey of the Lake Sevan (Armenia)]. Makhachkala, Nauka DNC, 2010. 348 p. (In Russian)
- Grant W.F. The present status of higher plant bioassay for the detection of environmental mutagens. *Mutation Research*, 1999, vol. 310, no. 2, pp. 175–185. doi: S0027-5107(99)00047-0
- Gevorgyan G., Rinke K., Schultze M. et al. First report about toxic cyanobacterial bloom occurrence in Lake Sevan, Armenia. *Int Rev Hydrobiol.*, 2020, pp. 1–12. doi: 10.1002/iroh.202002060.
- Hambaryan L., Khachikyan T., Ghukasyan E. Changes in the horizontal development of phytoplankton of the littoral of Lake Sevan (Armenia) in conditions of water level fluctuations. *Limnology and Freshwater Biology*, 2020, no. 4, pp. 662–664. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-662
- Hambaryan L.R., Shahazizyan I.V. Determinant and educational manual for genera of freshwater algae. Yerevan, YSU Press, 2014. 61 p. (In Armenian)
- Hovsepyan A.A., Mamyan A.S., Khachikyan G.T., Tikhonova I.V., Sorokovikova E.G., Belykh O.I., Gevorgyan G.A. Monitoring of phytoplankton status in Lake Sevan (Armenia) in 2018. *Proceedings of the Yerevan State University*, 2019, vol. 53(3), pp. 206–211.
- Legrand C., Rengefors K., Fistarol G.O., Graneli E. Allelopathy in phytoplankton - biochemical, ecological and evolutionary aspects. *Phycologia. Research Library*, 2003, vol. 42, no. 4, pp. 406–419. doi: 10.2216/i0031-8884-42-4-406.1
- Linne von Berg K.-H., Hoef-Emden K., Melkonian M. Der Kosmos-Algenführer: Die wichtigsten Süßwasseralgen im Mikroskop. Stuttgart, Kosmos, 2012. 368 s.
- Ma T.H., Cabrera G.L., Cebulska-Wasilevska A., Chen R., Loarca A.I., Vandenberg A.L., Salamone M.F. *Tradescantia* stamen hair mutation bioassay. *Mutation Research*, 1994, vol. 310, no. 2, pp. 211–220. doi: 0027-5107(94)00104-D
- Ma T.H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.S., Sandhu S.S., Vandenberg A.L., Salamone M.F. *Tradescantia* micronucleus bioassay. *Mutation Research*, 1994, vol. 310, no. 2, pp. 220–230. doi: 10.1016/0027-5107(94)90115-5
- Majer B.J., Grummi T., Uhl M., Knasmuelle S. Use of plant bioassay for the detection of genotoxins in the aquatic environment. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 2005, vol. 33, pp. 45–55. doi: 10.1002/ahch.200300557
- Matishov G.G., Selyutin V.V., Mesropyan K.E., Bulysheva N.I., Sheverdyayev I.V., Aroutiounyan R.M., Gabrielyan B.K. The current state and problems of studying Lake Sevan. *Science South of Russia*, 2016, vol. 12(2), pp. 43–52. doi: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-58-70 (In Russian)
- Ozero Sevan. Ekologicheskoe sostoyanie v period izmeneniya urovnya vody [Lake Sevan. Ecological state during the period of water level change]. Yaroslavl, Filigran, 2016. 328 p. (In Russian)
- Reynolds C., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. *J. Plankton Res.*, 2002, vol. 24, pp. 417–428. doi: 10.1093/plankt/24.5.417
- Sakharova E.G., Krylov A.V., Sabitova R.Z. et al. Horizontal and vertical distribution of phytoplankton in the alpine Lake Sevan (Armenia) during the summer Cyanoprokaryota bloom. *Problem of Ecology*, 2020, vol. 13(1), pp. 60–70. doi: 10.1134/S1995425520010072 (In Russian)
- Salmaso N., Morabito G., Buzzi F., Garibaldi L., Simona M., Mosello R. Phytoplankton as an indicator of the water quality of the deep lakes south of the Alps. *Hydrobiologia*, 2006, vol. 563, pp. 167–187. doi: 10.1007/s10750-005-0003-1
- Yang G. *Tradescantia*-micronucleus assay on the water quality of lake Hongzhe in Jiangsu Province, China. *Mutation Research*, 1999, vol. 426, pp. 155–157. doi: S0027-5107(99)00047-0
- Zhukova A.A., Mastitsky S.E. Bioindikatsiya kachestva prirodnoj sredy [Bioindication of the quality of the natural environment]. Minsk, BSU, 2014. 112 p. (In Russian)

ASSESSMENT OF THE STATE OF LAKE SEVAN WATER DURING THE SUMMER USING MODEL TEST-OBJECTS

R. E. Avalyan¹, A. L. Atoyants¹, L. R. Hambaryan^{1,2},
E. A. Aghajanyan¹, B. K. Gabrielyan², R. M. Aroutiounian¹

¹ RI "Biology", Yerevan State University, Chair of Ecology
8, Charents St., Yerevan, Armenia, 0025,

² SC of Zoology and Hydroecology, Institute of Hydroecology and ichthyology NAS RA
7, Sevak str. 0014, Yerevan, Armenia. e-mail: re_avalan@mail.ru; genetika@ysu.am

The biotesting of the level of genotoxicity and clastogenicity of deep and surface waters of Lake Sevan (Armenia) in the summer period was carried out using two test systems: of the model test object *Tradescantia* (clone 02) and phytoplankton. The *Tradescantia* clone 02 stamen hair mutations (Trad-SHM) and *Tradescantia* micronucleus (Trad-MCN) bioassays are two of the efficient and reliable biomonitoring test systems for mutagenicity of

air, water and soil pollutants. Here we report a significant increase in the level of The *Tradescantia* clone 02 stamen hair mutations (Trad-SHM) somatic mutations in all investigated probes compared to phone control level. The maximum manifestation of these genetic effects – PC was observed in Gilli water samples with five-fold increase. According to the micronucleus test (Trad-MN), when studying its two main test-criteria: the percentage of tetrads with micronuclei and micronuclei in tetrads, the maximum frequency of test indicators was detected in water samples of Tsapatakh and Arpa, where their level was 4 times higher than the background. A significant positive correlation between the somatic mutation events and concentration of chemical elements Ca, K, Na, Mg, Fe, Mo ($p<0.05$; $p<0.001$) was revealed. It also showed a significant correlation between MN in tetrads and concentration of chemical elements Na, Ca, Fe, Mo, Ni, Cd ($p<0.05$). The analysis of the spatial distribution of phytoplankton in the water area of the Lake Sevan, as well as data on the abundance, biomass and composition of the dominant species in the summer observation period showed an intensive development of Cyanoprokaryota (HAB) and green algae in the all water area of the lake, which caused the process of its eutrophication.

Keywords: biotesting, *Tradescantia* (clone 02), genotoxicity, clastogenicity, water pollution, bioindication, phytoplankton, Harmful Algal Blooms of Cyanoprokaryota (HABs)

Водная флора и фауна

UDK 595.762

NEW DATA ON DYTISCIDAE, HYDROPHILIDAE, HYDRAENIDAE, DRYOPIDAE AND HETEROCERIDAE (COLEOPTERA) OF NORTH OSSETIA

A. S. Sazhnev, A. A. Prokin

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
152742 Borok, Russia, e-mail: sazh@list.ru, prokina@mail.ru

Revised 28.02.2022

The species *Ochthebius anatolicus* Janssens, 1963 (Hydraenidae) is recorded in Russia for the first time. A new record of *Laccobius hindukuschi* Chiesa, 1966 (Hydrophilidae) confirms the presence of the species in the fauna of Russia and is the first for North Caucasus and the Republic of North Ossetia. Six species are recorded from North Ossetia for the first time: *Agabus dilatatus* (Brullé, 1832) (Dytiscidae), *Laccobius alternus* Motschulsky, 1855, *Cercyon lateralis* (Marsham, 1802) (Hydrophilidae), *Ochthebius anatolicus* (Hydraenidae), *Praehelichus asiaticus* (Motschulsky, 1845) and *Pomatinus substriatus* (P.W.J. Müller, 1806) (Dryopidae). The records of *Hydroporus transgrediens* Gschwendtner, 1923 (Dytiscidae) and two species of Heteroceridae (*Au-gyles maritimus* (Guérin-Méneville, 1844) and *Heterocerus fenestratus* (Thunberg, 1784)) are confirmed by new examined material. *Laccobius alternus* is additionally recorded from Kabardino-Balkaria Republic for the first time. Original photographs of the habitus, male genitalia and macrohabitats are provided for some species; such photographs for *Agabus dilatatus* have never been published before.

Keywords: beetles, North Caucasus, distribution, new records

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-38-45

INTRODUCTION

The Republic of North Ossetia is located in the North Caucasus, a region with insufficiently studied fauna of aquatic Coleoptera. The available data on the fauna of aquatic beetles of North Ossetia were recently summarized in an article by M.I. Shapovalov and his co-authors [Shapovalov et al., 2018]. Some new records of some aquatic beetles for North Caucasus, including North Ossetia, have been published in our recent paper [Prokin, Sazhnev, 2019].

The newly collected material in two districts of North Ossetia and the collections of Zoo-

logical Museum and Moscow State Pedagogical University (Moscow) include species not previously recorded from the North Ossetia. One species of Dytiscidae and two species of Heteroceridae were recorded from North Ossetia [Tarnogradsky, Popov, 1932–1933; Sazhnev, 2017] without label data. The present paper continues our previous research on the water beetle fauna of North Ossetia and aims to provide new records and clarify published data.

MATERIALS AND METHODS

The material was collected mainly by sweeping with an aquatic net and splashing of the banks of waterbodies [Golub et al., 2021]. Taxonomy follows the published catalogues [Catalogue..., 2015, 2016, 2017]. Most part of the photographs were made using a Canon EOS 4000D digital camera with a Laowa 2.5 mm F 2.8 Ultra-Macro lens and a Leica MC170 HD digital camera mounted on a Leica M165C stereomicroscope; photographs of the aedeagi of *Laccobius alternus* and *Ochthebius anatolicus* were made using a Nikon Eclipse 80i light microscope equipped with Nomarski DIC accessories, a Nikon DS-Fi1 digital camera and a PC with NIS-Elements D 3.2

software for imaging. The pictures were processed in Helicon Focus 7.7.4. and Sketchbook. Male aedeagus anatomical position (dorsal, ventral, lateral aspects) for Dytiscidae used according to Miller and Nilsson [2003]. Coordinates were obtained using the application Maps.Me.

The material examined is deposited in the following collections: Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences (Borok, Russia) – IBIW, Zoological Museum of Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia) – ZMMU, and Moscow State Pedagogical University (Moscow, Russia) – MPU.

RESEARCH RESULTS AND DISCUSSION

Dytiscidae

Agabus (Gaurodytes) dilatatus (Brullé, 1832) (Figs 1, 2, 5)

Material examined. North Ossetia: Prigorodny Distr., 0.5 km N of Dargavs, pools in Gizeldon River floodplain, 42°50'59.02"N 44°26'45.17"E, 21.V.2021 (1 ex.) A.S. Sazhnev

leg. (IBIW); Alagirsky Distr., Zgil vill., waterfall, 42°39'23.27"N 43°49'33.51"E, 22.V.2021 (4 exs.) A.A. Prokin leg. (IBIW).

Note. This species differs from similar *Agabus glacialis* Hochhuth, 1846 and *A. guttatus* (Paykull, 1798 morphologically at least in epipleuron coloration and penis shape (Figs 1, 2).

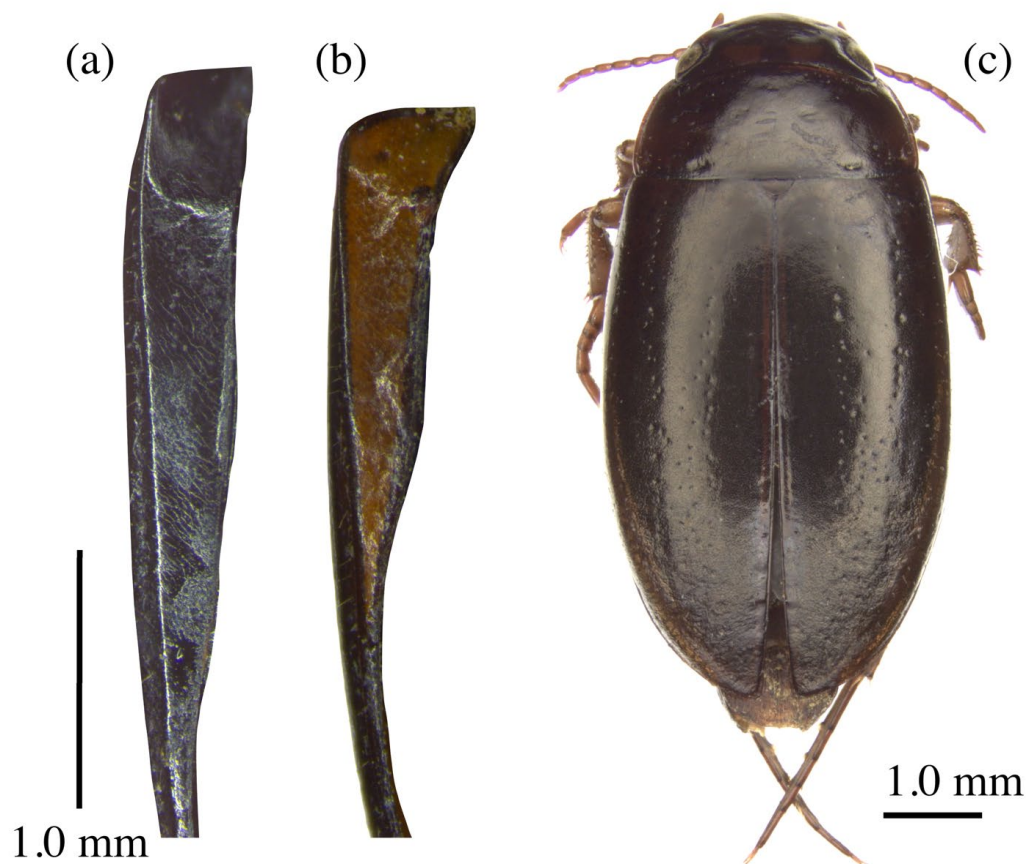


Fig. 1. *Agabus* spp.: (a) epipleuron of *Agabus glacialis* Hochhuth, 1846, lateral view; (b) epipleuron of *Agabus dilatatus* (Brullé, 1832), lateral view; (c) habitus of *Agabus dilatatus*, dorsal view (photographs by A.S. Sazhnev).



Fig. 2. *Agabus* spp.: (a) penis of *Agabus dilatatus* (Brullé, 1832), lateral and ventral views; (b) penis of *A. guttatus* (Paykull, 1798) from Lipetsk Oblast, lateral and ventral views (photographs by A.S. Sazhnev).

Hydroporus transgrediens Gschwendtner, 1923 (Figs 3–5)

Material examined. North Ossetia: Prigorodny Distr., 0.5 km N of Dargavs, pools in Gizeldon River floodplain, 42°50'59.02"N 44°26'45.17"E, 21.V.2021 (8 exs.) A.S. Sazhnev leg. (IBIW).

Note. This species was recorded earlier from North Ossetia as *Hydroporus discretus ponticus* Zaitzev, 1927, without providing label data [Tarnogradsky, Popov, 1932–1933: cited from Shapovalov et al., 2018].

Hydrophilidae

Laccobius (*Dimorpholaccobius*) *hindukuschii* Chiesa, 1966 (Figs 6, 8)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Zgil vill., narzan (sulfate-hydrocarbonate sodium-magnesium-calcium water) spring №1, 42°39'13.2"N 43°49'13.45"E, 22.V.2021 (2 exs.) A.A. Prokin leg. (IBIW); same place, narzan spring №2, 42°39'17.7"N 43°49'25.15"E, 22.V.2021 (3 exs.) A.A. Prokin leg. (IBIW).

Note. The species was recorded earlier from Russia (RU) without any more details on its distribution [Catalogue..., 2015]. According to data published herein, in the next edition of the Catalogue of Palaearctic Coleoptera "ST" (South European Territory of Russia) must be added for this species distribution.

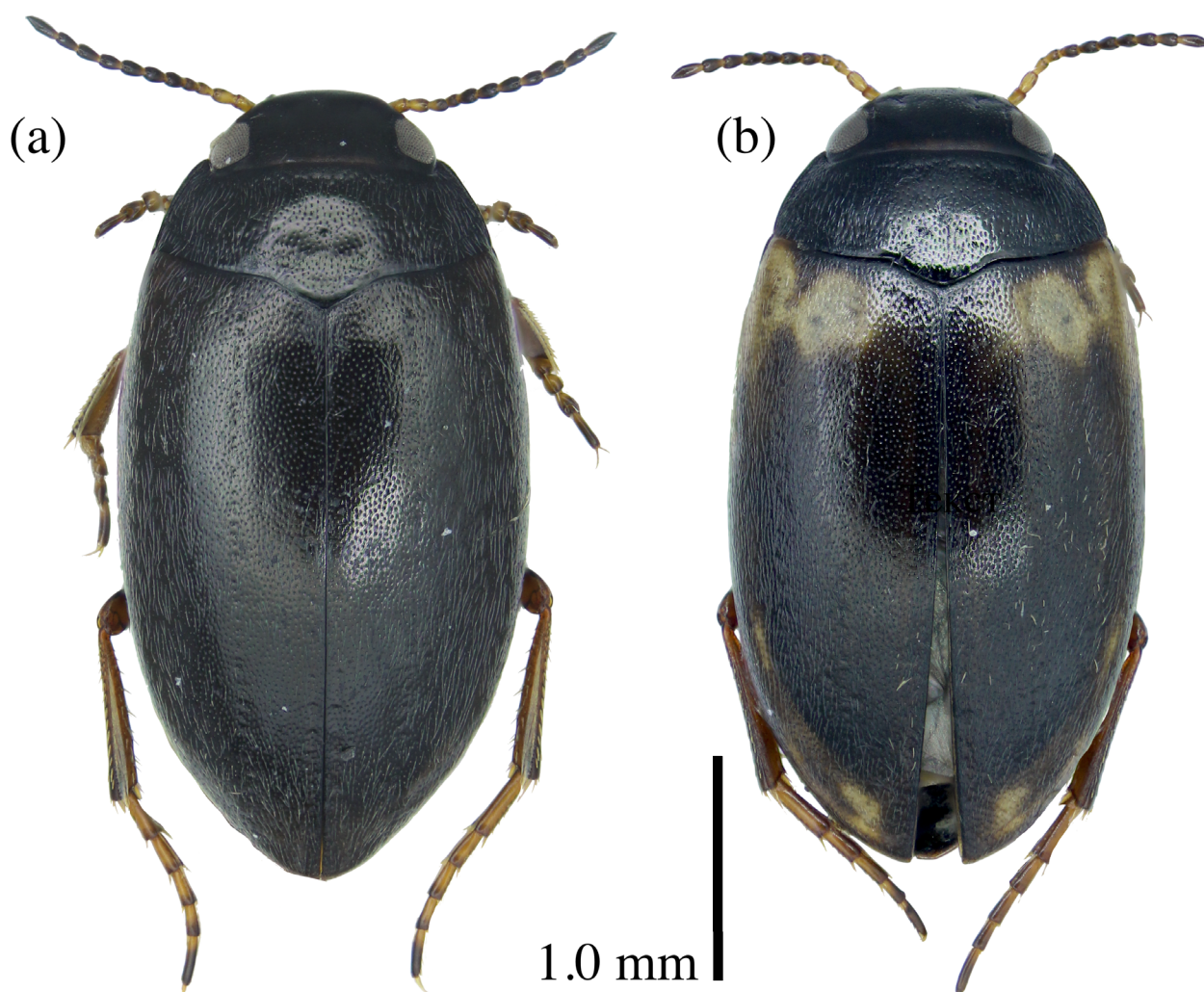


Fig. 3. *Hydroporus transgrediens* Gschwendtner, 1923: males of (a) dark and (b) maculate morphs, habitus, dorsal view (photographs by A.S. Sazhnev).

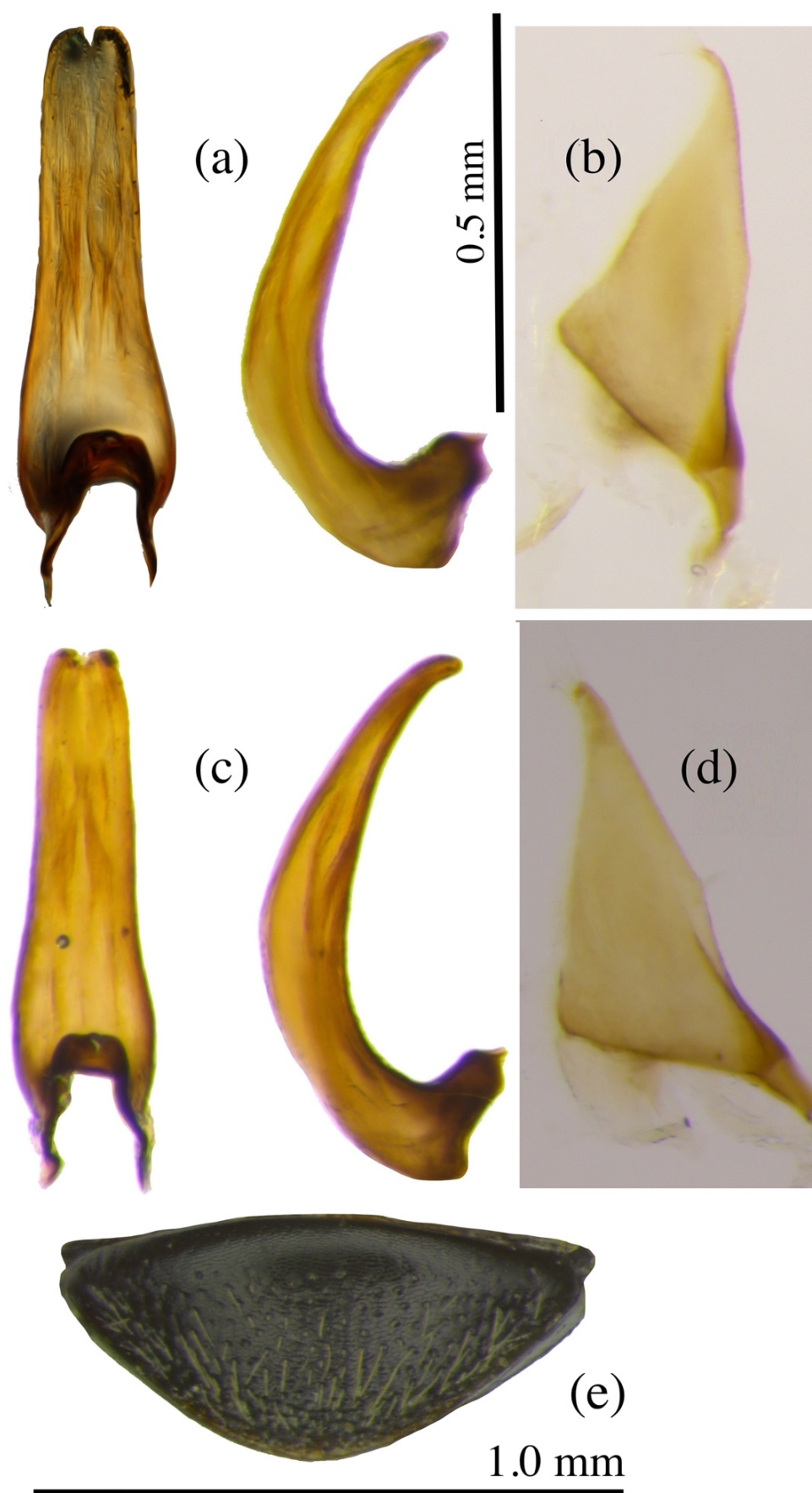


Fig. 4. *Hydroporus transgrediens* Gschwendtner, 1923: (a) penis, lateral and dorsal views, and (b) right paramere of dark morph; (c) penis, lateral and dorsal views, and (d) right paramere of maculate morph; (e) female last abdominal sternum (photographs by (b–e) A.S. Sazhnev and (a) A.A. Prokin).



Fig. 5. Pool in the Gizeldon River floodplain, habitat of *Haliphus lineatocollis* (Marsham, 1802), *H. heydeni* Wehncke, 1875, *Agabus biguttatus* (Olivier, 1795), *A. dilatatus* (Brullé, 1832), *A. glacialis* Hochhuth, 1846, *Hydroporus jacobsoni* Zaitzev, 1927, *H. transgrediens* Gschwendtner, 1923, *H. tessellatus* (Drapiez, 1819), *Anacaena lutescens* (Stephens, 1829) and *Laccobius striatulus* (Fabricius, 1801) (photo by A.S. Sazhnev).

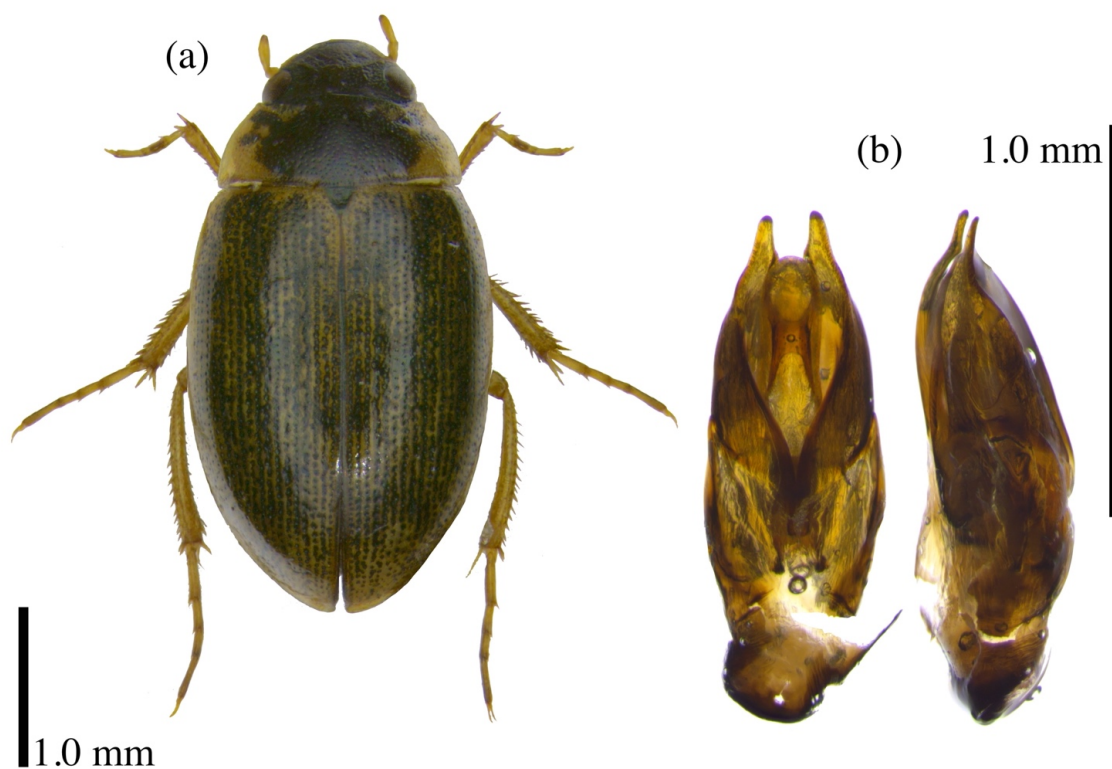


Fig. 6. *Laccobius hindukuschi* Chiesa, 1966: (a) habitus, dorsal view; (b) penis, dorsal and lateral views (photographs by A.S. Sazhnev).

Laccobius (Microlaccobius) alternus Motschulsky, 1855 (Figs 7–8)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Zgil vill., narzan spring №2, 42°39'17.7"N 43°49'25.15"E, 22.V.2021 (4 exs.) A.A. Prokin leg. (IBIW). Kabardino-Balkaria Republic, Urupsky Distr., Pregradnaya stanitsa, Urup River, 43°58'29.3"N 41°12'10.4"E, 15.VIII.2016 (1 ex.) A.A. Prokin leg. (IBIW).

Note. This species is recorded for North Ossetia and Kabardino-Balkaria Republics for the first time.

Cercyon (Cercyon) lateralis (Marsham, 1802)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Barzikau vill., shore of Fiagdon River, $h \approx 1200$ m, 42°50'37"N 44°18'44"E, 11.V.2016 (1 ex.) A.S. Sazhnev leg. (IBIW).

Hydraenidae

Ochthebius anatolicus Janssens, 1963 (Fig. 9)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., shore of Tsakhsaddon River, under stones, 19.VII.1987 (12 exs.) N. Kozlov leg. (MPU).

Note. The first record from Russia and North Caucasus; this species has been recorded earlier from Turkey, Armenia and Georgia [Catalogue..., 2015].

Dryopidae

Praehelichus asiaticus (Motschulsky, 1845)

Material examined. North Ossetia: Mozdok, VII.1982 (1 ex.) unknow collector (ZMMU).

Pomatinus substriatus (P.W.J. Müller, 1806)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Monakh mountain, Skazdon River floodplain, $h = 670$ m, 17.VII.1987 (1 ex.) I. Sibakov leg. (ZMMU).

Heteroceridae

Augyles (Augyles) maritimus (Guérin-Méneville, 1844)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Barzikau vill., shore of Fiagdon River, $h \approx 1200$ m, 42°50'37"N 44°18'44"E, 11.V.2016 (1 ex.) A.S. Sazhnev leg. (IBIW).

Note. Previously species was recorded for North Ossetia [Sazhnev, 2017] without labels information.

Heterocerus fenestratus (Thunberg, 1784)

Material examined. North Ossetia: Alagirsky Distr., Barzikau vill., shore of Fiagdon River, $h \approx 1200$ m, 42°50'37"N 44°18'44"E, 11.V.2016 (1 ex.) A.S. Sazhnev leg. (IBIW).

Note. Previously species was recorded for North Ossetia [Sazhnev, 2017] without labels information.

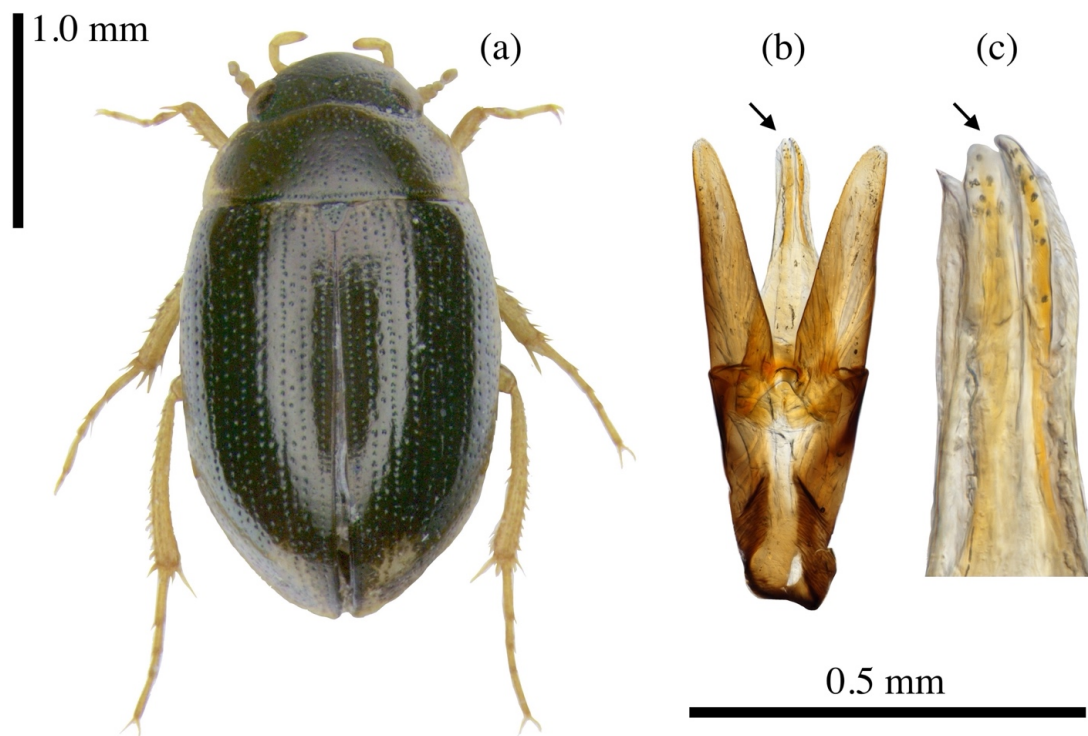


Fig. 7. *Laccobius alternus* Motschulsky, 1855 from North Ossetia: (a) habitus, dorsal view; (b) aedeagus, dorsal view; (c) apex of penis ($\times 3.5$) (photographs by (a) A.S. Sazhnev and (b–c) A.A. Prokin).



Fig. 8. Narzan spring in Zemegondon River floodplain, habitat of *Helophorus faustianus* (Sharp, 1916), *H. obscurus* Mulsant, 1844, *Enochrus fuscipennis* (Thomson, 1884), *Laccobius hindukuschi* Chiesa, 1966 and *L. alternus* Motschulsky, 1855 (photo by A.S. Sazhnev).

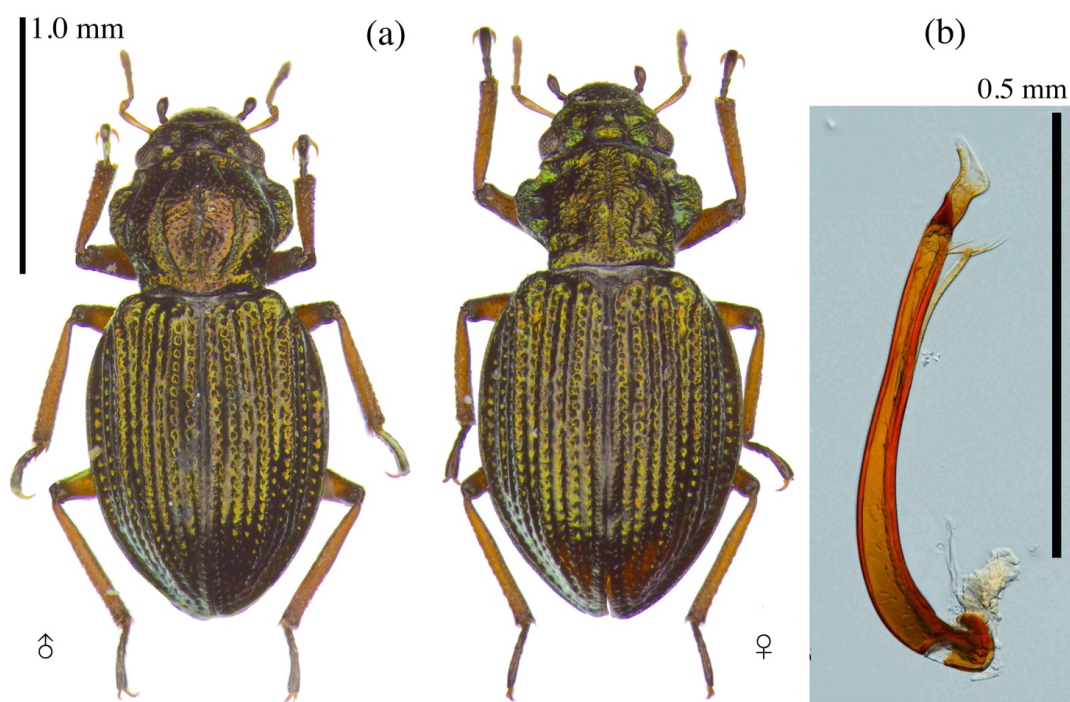


Fig. 9. *Ochthebius anatolicus* Janssens, 1963: (a) male and female habitus, dorsal view (photographs by A.S. Sazhnev); (b) aedeagus, lateral view (photo by A.A. Prokin).

ACKNOWLEDGMENTS

The study was carried out as a part of the Russian State Research project №121051100109-1. We are grateful to P.N. Petrov (Moscow, Russia) for very helpful review, V.A. Gusakov (IBIW) for his help with photography, to H. Fery (Berlin, Germany) and H. Shavedro (Vienna, Austria) for consultations, and to A.A. Gusakov, V.Yu. Savitsky (ZMMU) and K.V. Makarov (MPU) for the possibility of examining material stored in the respective collections.

REFERENCES

- Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Archostemata – Myxophaga – Adephaga. Vol. 1. Revised and Updated Edition. Eds. Löbl I., Löbl D. 2017. Leiden, Boston: Brill. 1443 p.
- Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Hydrophiloidea – Staphylinoidea. Vol. 2/1. Revised and Updated Edition. Eds. Löbl I., Löbl D. 2015. Leiden, Boston: Brill. 1702 p.
- Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Scarabaeoidea, Scirtoidea, Dascilloidea, Buprestoidea, Byrrhoidea. Vol. 3. Revised and Updated Edition. Eds. Löbl I., Löbl D. 2016. Leiden, Boston: Brill. 984 p.
- Golub V.B., Tsurikov M.N., Prokin A.A. Kollektii nasekomykh: sbor, obrabotka i hranenie materiala [Insect collections: collection, processing and storage of material]. Second edition. Moscow, KMK, 2021. 358 p. (In Russian).
- Prokin A.A., Sazhnev A.S. New records of beetles from families Haliplidae, Dytiscidae, Hydraenidae, Helophoridae, Hydrophilidae, Scirtidae and Chrysomelidae (Coleoptera) from the North Caucasus. *Caucasian Entomological Bulletin*, 2019, vol. 15, no 1, pp. 49–53. DOI: 10.23885/181433262019151-4953
- Miller K.B., Nilsson A.N. Homology and terminology: Communicating information about rotated structures in water beetles. *Latissimus*, 2003, vol. 17, pp. 1–4.
- Sazhnev A.S. Materials for the distribution of beetles of the family Heteroceridae (Coleoptera) in the North Caucasus. *Eversmannia*, 2017, vol. 50, pp. 8–10.
- Shapovalov M.I., Mamaev V.I., Cherchesova S.K. The Water Beetles (Insecta, Coleoptera) of North Ossetia. I. Dytiscidae, Noteridae, Haliplidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Hydrochidae, Spercheidae, *Russian Entomological Journal*, 2018, vol. 27, pp. 249–254.
- Tarnogradsky D.A., Popov K.K. K biologii i rasprostraneniyu peredatchika fastsiolyoza *Limnaea truncatula* na Severnom Kavkaze [On biology and distribution of the fasciolosis vector *Limnaea truncatula* in the North Caucasus]. *Raboty Severo-Kavkazskoy kraevoy gidrobiologicheskoy stantsii pri Gorskoy sel'sko-khozyaystvennom institute*, 1932–1933, vol. 1(4), no.1, pp. 111–113 (In Russian).

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО DYTISCIDAE, HYDROPHILIDAE, HYDRAENIDAE, DRYOPIDAE И HETERO CERIDAE (COLEOPTERA) СЕВЕРНОЙ ОСЕТИИ

А. С. Сажнев, А. А. Прокин

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: sazh@list.ru, prokina@mail.ru
Поступила в редакцию 28.02.2022

Вид *Ochthebius anatolicus* Janssens, 1963 (Hydraenidae) впервые приводится для фауны России. Находка *Laccobius hindukuschi* Chiesa, 1966 (Hydrophilidae) подтверждает присутствие вида в фауне России, он впервые приводится для Северного Кавказа и Республики Северная Осетия. Впервые для фауны Северной Осетии указываются шесть видов: *Agabus dilatatus* (Brullé, 1832) (Dytiscidae), *Laccobius alternus* Motschulsky, 1855, *Cercyon lateralis* (Marsham, 1802) (Hydrophilidae), *Ochthebius anatolicus* (Hydraenidae), *Praehelichus asiaticus* (Motschulsky, 1845) и *Pomatinus substriatus* (P.W.J. Müller, 1806) (Dryopidae). Находки *Hydroporus transgrediens* Gschwendtner, 1923 (Dytiscidae) и двух видов Heteroceridae (*Augyles maritimus* (Guérin-Méneville, 1844) и *Heterocerus fenestratus* (Thunberg, 1784)) подтверждены представленным материалом. *Laccobius alternus* также впервые отмечен из Кабардино-Балкарии. Для некоторых видов приведены оригинальные фотографии габитуса, гениталий самца и биотопов, для *Agabus dilatatus* впервые.

Ключевые слова: жуки, Северный Кавказ, распространение, новые находки.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ВЫЧЕГДА И ЕЕ ПРИТОКОВ

Е. В. Медведева, Н. Г. Отченаш, И. Ю. Македонская

Северный филиал ФГБНУ «ВНИРО»,

163002 г. Архангельск, ул. Урицкого, 17, e-mail: medvedeva23@pinro.ru

Поступила в редакцию 30.01.2022

Работа является частью комплексных исследований рек и озер юго-востока Архангельской области, выполнявшихся в 2021 г. с целью развития аквакультуры внутренних водоемов. Были получены сведения о видовом разнообразии и структуре планктонных сообществ пресноводных объектов, относящихся к водосборному бассейну р. Вычегда. Показан таксономический состав фитопланктона в летний период 2021 г. Оценено видовое разнообразие с использованием индекса Шеннона, основанного на относительном обилии видов, индекса Менхеника определяющего видовое богатство и коэффициента сходства Жаккара. Рассчитан индекс сапробности Пантле-Букка для оценки загрязнения природных вод. Проведена оценка трофности водотоков по полученным показателям фитопланктона и зоопланктона. Выявлено 192 таксона микроводорослей из 8 отделов и 15 видов зоопланктона из трех систематических групп. Установлено, что основу альгофлоры составляли зеленые и диатомовые водоросли. Зоопланктонное сообщество являлось кладоцерно-копеподным. Новые данные о состоянии фитопланктонного сообщества могут служить информационной и методической основой для разработки программ экологического мониторинга водных экосистем региона. Результаты исследований могут быть использованы для оценки рыбопродуктивности водоемов Архангельской области и расчета ущерба водным биоресурсам от хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, видовое разнообразие, таксономические группы, индексы, бассейн реки Вычегда.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-46-54

ВВЕДЕНИЕ

Вычегда – река бассейна Белого моря, является главным притоком р. Северная Двина, протекающая в Республике Коми и Архангельской области. Разделяется на Верхнюю (от истока до впадения Нем, 346 км), Среднюю (от Усть-Нема до впадения Сысолы, 489 км) и Нижнюю Вычегду (от реки Вымь, до устья, 296 км). На реке расположено множество населенных пунктов, наиболее значительные из них (от устья к истоку): г. Котлас, г. Сольвычегодск, г. Корязма, г. Сыктывкар. Урбанизация сказывается на экологическом состоянии реки, приводя к нарушению экологического баланса водных экосистем из-за активного поступления загрязненных сточных вод. Первым на любые перестройки в экосистемах реагирует фитопланктон, являясь важнейшим компонентом водотоков, активно участвующим в формировании качества воды и вырабатывающим основную часть первичной продукции. Изменения микроальгоценозов сказываются на состоянии биотопа в целом. Состав фитопланктона имеет большую видовую насыщенность. Зоопланктон является основой гидробиологических сообществ, как неотъемлемая часть кормовой базы ихтиофауны. Качественные и количественные показатели, структура популяций, доминирующие виды служат показателями состояния водной экосистемы, а также используются для биоиндикации и мо-

нитинга качества среды. Анализ видового состава, обилия и количественного развития видов планктонных сообществ входит во все программы экологического мониторинга водоемов [Шуберт, 1998 (Schubert, 1998)].

Цель работы – на основе изучения структурно таксономического разнообразия планктонных сообществ оценить экологическое состояние вод исследуемых водотоков. Фитопланктон нижнего течения р. Вычегда практически не изучен, основные исследования количественных показателей фитопланктона приведены только для вегетационного (летне-осеннего) периода.

Данные по качественным и количественным показателям фитопланктона для нижнего течения р. Вычегда ранее были представлены ФГБУ «Северным УГМС» 2013 г. [Обзор, 2014 (Review, 2014)]. В 2014 г. были проведены исследования фитопланктона водных объектов бассейна р. Вычегды Коми научным центром УрО РАН [Патова, 2018 (Patova, 2018)]. Зоопланктонные сообщества р. Вычегды и водных объектов ее бассейна изучены более полно – первые упоминания встречаются в научных отчетах сотрудников Северной базы Академии наук СССР. В 20 веке исследования проводились эпизодически [Кордэ, 1959 (Korda, 1959); Зверева, 1969 (Zvereva, 1969)] и носили разрозненный характер. В 2003–2005 г.

сотрудниками [Батурина, 2017 (Baturina, 2017)] Института биологии Коми Научного центра УрО РАН были проведены масштабные работы по изучению зоопланктона среднего течения р. Вычегда, продолжившиеся в 2006–

2015 г. Тем не менее, планктонные организмы в нижнем течении р. Вычегда изучены крайне слабо [Кононова, 2009 (Kononova, 2009); Батурина, 2020 (Baturina, 2020)].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вычегда берет начало на южных склонах Тиманского кряжа, в болоте Дзюр-Нюрэ. Длина реки равна 1130 км, площадь бассейна – 121 тыс. км². Рельеф бассейна сложился в результате неоднократных оледенений и особенно последней трансгрессии Северного моря. Поверхность равнинная со средней высотой 120–150 м. Речные долины широкие, без террас, сложены пермскими отложениями (глины, мергели), каменноугольным известняком, юрскими и меловыми породами. Бассейн покрыт таежными лесами (ель, сосна, береза), распространены болота. Русло извилистое, уклон реки незначителен [Жила, 1965 (Zhila, 1965)].

Верхние участки бассейна Вычегды представляют собой расчлененное холмистое плато высотой 200–250 м. Долина шириной до 150–200 м, русло извилистое, много порогов, отмелей, течение быстрое (0.6–0.7 м/с). Ширина реки от 15 до 100 м, средняя глубина 3 м. Бассейн Средней и Нижней Вычегды занимают обширную равнину, отличающуюся большой заболоченностью. Долина шириной до 10 км. Пойма широкая, заросшая лугами, с множеством протоков (полоев), стариц. Русло реки от 100 до 680 м шириной, песчано-глинистое с галькой, неустойчивое с перекатами (>120), отмелями и островами. Глубина на перекатах до 0.5 м, на плесах до 5 м. Скорость течения от 0.3 до 1.8 м/с. Вычегда относится к рекам с незавершенным меандрированием [Жила, 1965 (Zhila, 1965)].

Вычегда входит в перечень водных путей России, и является судоходной в период высокой воды. По неустойчивости русла и подвижности песков р. Вычегда занимает первое место в России, что усложняет обеспечение судоходства. Часть притоков имеет большое рыбохозяйственное значение. Видовой состав рыб представлен щукой, окунем, лещом, плотвой, ельцом. Также в притоках Вычегды существуют нерестово-выростные угодья атлантического лосося.

Материалом для изучения послужили результаты исследований, выполненные в августе 2021 г. в нижнем течении р. Вычегда, с 15 заданных точек (по одной пробе с каждого объекта). Собрано и обработано по 5 проб фитопланктона и зоопланктона из правобережной части бассейна: р. Ертым, р. Кижмола,

р. Яренга, р. Ленка и оз. Себентий и 6 проб из левобережных притоков: р. Виледь, р. Лименда, р. Великая Охта, р. Нарчуг, р. Пыела. В главной реке – нижней Вычегде собрано 4 пробы (рис. 1).

Гидробиологический материал для исследования фитопланктона был отобран пластиковым пробоотборником объемом 1 л, с глубины 0.1–2 м и фиксировался 40%-ным формалином, до слабого запаха, в соответствии с общепринятыми для альгологических исследований методами [Садчиков, 2003 (Sadchikov, 2003)]. Сгущение осуществляли осадочным способом. Все организмы рассматривались под микроскопом LOMO MIKMED – 6 вар. 7 и, по возможности, определялись до вида с помощью отечественных и зарубежных определителей [Дедусенко-Щеголева, 1959 (Dedusenko-Shchegoleva), 1959; Забелина, 1951 (Zabelina, 1951)]. При таксономической идентификации использовалась база данных Интернет-ресурса (WoRMS).

Отбор зоопланктонных проб проводился с поверхностного горизонта путем процеживания 100 л воды через качественную планктонную сеть Апштейна (газ № 49), с последующей фиксацией 40% формалином [Абакумов, 1992 (Abakumov, 1992)]. Обработка отобранного материала проводилась камерально, путем визуализации с использованием стереоскопического микроскопа БиОптик CS-200 и лабораторного микроскопа БиОптик С-300.

Проведен сравнительный анализ количественных показателей (численность, биомасса) разных систематических групп фитопланктона. Для оценки устойчивости сообществ использовался индекс Шеннона, рассчитанный как по численности, так и по биомассе [Шитиков, 2003 (Shitikov, 2003)]. Для сравнения флористического состава фитопланктона рек применялся коэффициент видового сходства Жаккара в модификации Серенсена [Татаринов, 2010 (Tatarinov, 2010)]. Для оценки видового богатства – индекс Менхиника [Шитиков, 2003 (Shitikov, 2003)]. Степень выравниваемости сообщества оценивали с помощью индекса Пielу [Pielou, 1966]. Для определения степени загрязненности был задействован индекс сапробности по методу Пантле-Букка в модификации Сладечека [Шитиков, 2005 (Shitikov,

2005)]. Все этапы статистической обработки данных и построение графических таблиц, вы-

полнены с использованием программы МО Excel.

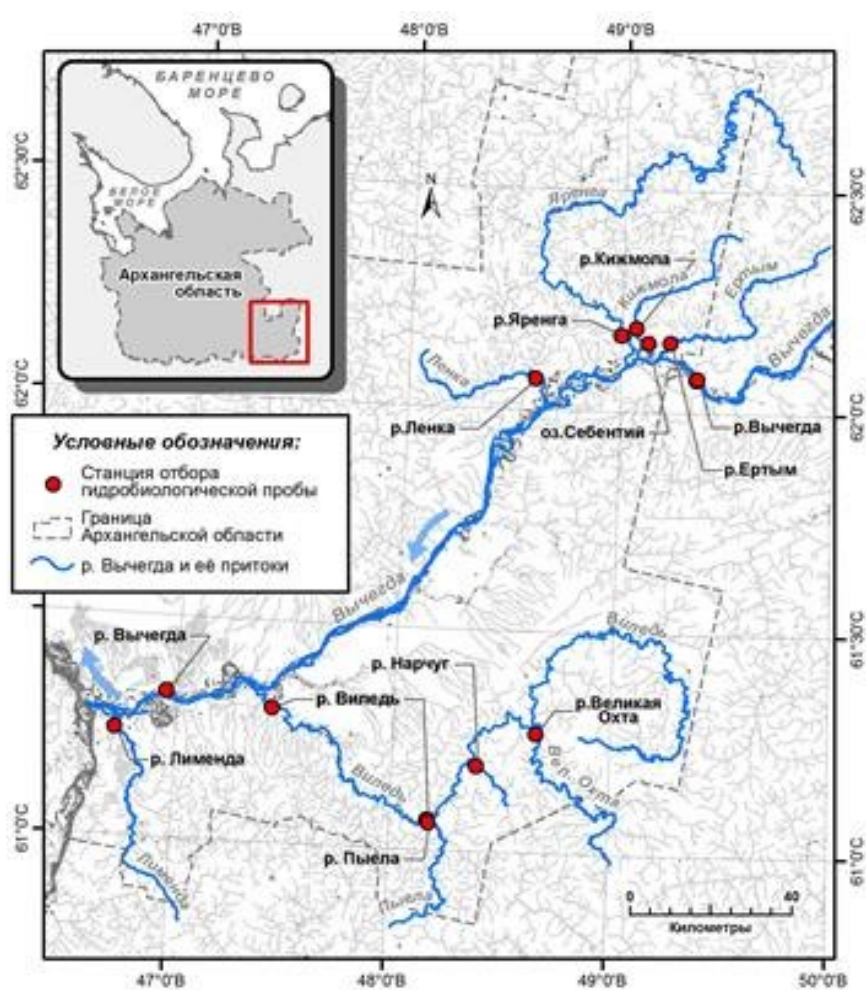


Рис. 1. Пространственное распределение точек отбора проб в нижнем течении р. Вычегды и ее притоков, в августе 2021 г.

Fig. 1. Spatial distribution of sampling points in the lower Vychegda River and its tributaries, August 2021. Legend: red dot – Hydrobiological sampling station; dotted line – Arkhangelsk Oblast border; blue line – river. Vychegda River and its tributaries.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В составе планктона исследованных рек и озера Себентий выявлены 208 видов планктонных водорослей, 151 из которых были идентифицированы до видового уровня. По своему систематическому положению исследуемые микроводоросли принадлежали к восьми отделам: Bacillariophyta (98 видов), Chlorophyta (57 видов), Cyanophyta (25 видов), Dinophyta и Euglenophyta (по 9 видов), Chrysophyta (5 видов) и Cryptophyta (3 вида) и Xanthophyta (2 вида). Основу флоры на 86% составляют три отдела: Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, что характерно для альгофлор таежных природных зон [Сафонова, 1983 (Safonova, 1983)] (рис. 2).

Среди Bacillariophyta наиболее часто встречались виды родов Aulacoseira, Epithemia, Navicula, среди Chlorophyta выделяются Ankirodesmus, Scenedesmus. В отделе Cyanophyta наиболее многочисленными были Dolichospermum и Arphanocapsa. Виды данных родов микроводорослей были выявлены практически на всех точках отбора проб в период наблюдения. Таким образом, альгофлора Нижней Вычегды в исследуемый период 2021 г. характеризовалась как диатомово-зеленая с присутствием цианобактерий. Что свидетельствует о концентрации видов в небольшом количестве родов и семейств и отражает суровые условия среды обитания фитопланктона [Гецен, 1985 (Getsen, 1985)].

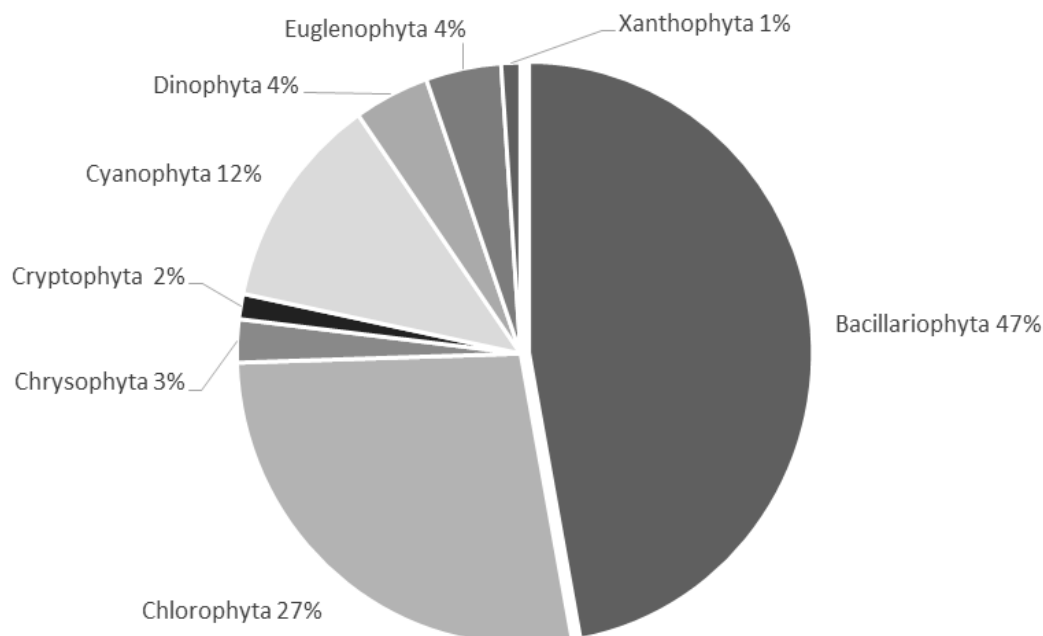


Рис. 2. Соотношение количества видов по отделам, в фитопланктоне нижнего течения р. Вычегды и ее притоков, в августе 2021 г.

Fig. 2. The ratio of the number of species by department, in phytoplankton of the lower Vychegda River and its tributaries, in August 2021.

Сходство альгоценозов между правыми и левыми притоками умеренное (K_j 36%), что может быть обусловлено расположением точек отбора проб и скоростью течения. Индекс

сходства Жаккара между рекой и притоками – более высокое (K_j 48%), что подтверждает общую ассоциацию микроводорослей Нижней Вычегды (табл. 1).

Таблица 1. Распределение видов фитопланктона в нижнем течении р. Вычегды и ее притоков, по отделам в августе 2021 г.

Table 1. Distribution of phytoplankton species in the Lower Vychegda tributaries, by department in August 2021

№ п/п	Отделы Phylum	Количество видов Number of species										
		Главная река The Main River	Правобережная часть бассейна реки The right-bank part of the river basin					Левобережная часть бассейна реки The left bank of the river basin				
		р. Вычегда нижняя	р. Ертым	оз. Себентий	р. Кижмола	р. Яренга	р. Ленка	р. Виледь	р. Лименда	р. Великая Охта	р. Нарчуг	р. Пыела
1	Bacillariophyta	45	8	6	10	13	18	30	35	5	32	27
2	Chlorophyta	32	11	19	13	15	9	12	11	3	9	8
3	Cyanophyta	13	6	6	8	7	4	4	3	1	2	5
4	Dinophyta	4	1	–	2	2	1	1	–	–	–	–
5	Euglenophyta	5	3	1	2	3	–	1	–	1	3	3
6	Chrysophyta	3	2	2	2	2	2	–	–	–	–	–
7	Cryptophyta	1	–	2	1	–	–	1	–	–	–	–
8	Xanthophyta	1	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–
Всего Total		104	31	36	38	42	34	49	50	10	46	43

Примечание. “–” – данные отсутствуют.

Note. “–” – no data.

Средняя общая численность фитопланктона в конце гидробиологического лета 2021 г. в исследуемых водотоках составляла 78.81 млн. кл./м³. Наибольшие показатели были среди притоков правого берега, максимальная численность зафиксирована в оз. Себентий (164.52 млн. кл./м³), минимальная в р. Великая Охта (2.88 млн. кл./м³), среди притоков левого берега. Уровень биомассы фитопланктона в большинстве водоемов был относительно не высокий (общее средние – 399.32 мг/м³), минимальное значение наблюдалось также в р. Великая Охта (51 мг/м³), а максимальные значения в оз. Себентий (1777.77 мг/м³) и р. Яренга (1181.06 мг/м³). Выявленные наибольшие значения в данных водотоках, объясняются крупными колониями отделов Chlorophyta (*Mucidosphaerium pulchellum*, *Coenocystis* sp.) и Cyanophyta (*Chroococcus turgidus*). В фитопланктоне остальных проб преобладают по численности и биомассе диатомовые (*Aulacoseira granulata*) и зеленые водоросли (*Actinastrum hantzschii*, *Mucidosphaerium pulchellum*, *Coenocystis* sp.), на втором месте – представители мелкоклеточных синезеленых (*Microcystis* sp., *Aphanocapsa*

grevillei) что соответствует значениям биомассы летнего фитопланктона северных районов [Шаров, 2004 (Sharov, 2004)] (рис. 2).

Биомасса фитопланктона один из важнейших показателей состояния водной экосистемы, позволяющий оценить ее экологическое состояние. Средняя биомасса фитопланктона (399.32 мг/м³), характеризует воды, как олиготрофные [Неверова-Дзюпак, 2020 (Neverova-Dziopak, 2020)]. Такие водотоки отличаются большой глубиной, высокой прозрачностью, присутствием кислорода во всей толще воды в течение всего года. Донные отложения бедны органическим веществом [Sadchikov, 2004 (Садчиков, 2004)].

Для всех типов рассмотренных водотоков характерен относительно высокий индекс биоразнообразия (H'), его средние значения составляют по численности – 3.62, по биомассе – 2.36. Что свидетельствует о сложности структуры сообщества фитопланктона и довольно благополучном состоянии данного сообщества. Так же был рассчитан индекс Менхеника (D_{Mn}), среднее значение которого составило 1.47, что говорит о невысоком видовом разнообразии (табл. 2).

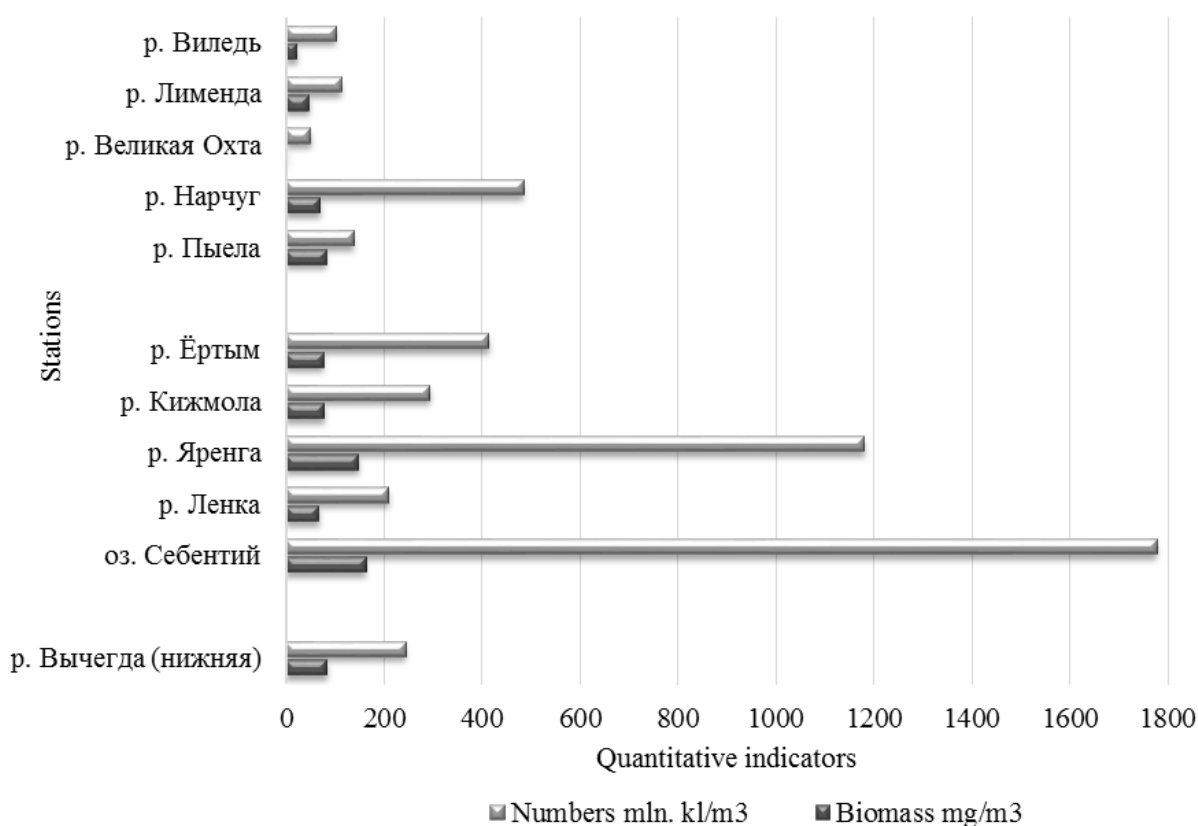


Рис. 3. Показатели численности и биомассы фитопланктона Нижней Вычегды и ее притоков, в августе 2021 г.

Fig. 3. Indices of abundance and biomass of phytoplankton in the Lower Vychehda River and its tributaries, in August 2021.

Таблица 2. Значения индексов биологического разнообразия фитопланктона в нижнем течении р. Вычегды и ее притоков в августе 2021 г.**Table 2.** Index values of phytoplankton biodiversity in the Lower Vychegda and its tributaries, in August 2021

	Станции Stations	Индекс Шеннона (H) Shannon Index (H)		Индекс Менхиник а (DMn) Menchinic Index (D _{Mn})	Индекс Пиелу (E) Pielu index (E)	Индекс Сапробности (S) Saprobility Index (S)
		По численности In terms of num- bers	По биомассе By biomass			
Главная река / The Main River	р. Вычегда (нижняя)	3.93	3.17	1.60	0.49	1.73
Правобережная часть бассейна реки / The rightbank part of the river basin	р. Ертым	3.63	1.75	1.24	0.35	1.84
	оз. Себентий	3.43	2.20	0.97	0.42	1.83
	р. Кижмола	4.02	2.33	1.52	0.44	1.78
	р. Яренга	3.77	2.40	1.20	0.44	1.70
	р. Ленка	3.46	2.66	1.36	0.52	1.70
	р. Виледь	4.17	2.46	2.17	0.74	1.92
	р. Лименда	4.28	3.28	2.08	0.58	1.85
	р. Великая Охта	3.05	1.01	1.17	0.91	1.32
	р. Нарчуг	2.67	0.85	1.54	0.48	1.78
	р. Пыела	3.44	3.85	1.33	0.63	1.89
Левобережная часть бассейна реки / The left bank of the river basin						

Был рассчитан индекс Пиелу (E), среднее значение которого составило – 0.54, что подтверждает неравномерное распределение видов по таксонам. Индекс сапробности (I) по индикаторным видам фитопланктона изменялся в пределах 1.32 – 1.92 и в среднем составил 1.75, что соответствует олигосапробной зоне. К ней относятся практически чистые водоемы: цветения не бывает, содержание кислорода и углекислоты не колеблется, на дне мало детрита, автотрофных организмов и бентосных животных (червей, моллюсков, личинок хирономид) [Шитиков, 2003 (Shitikov, 2003)].

Выявленные количественные и качественные показатели фитопланктонного сообщества р. Вычегда, совпадают с данными полученными в более ранних исследованиях [Обзор..., 2014 (Obzor..., 2014)].

Видовой состав зоопланктонных сообществ исследованных водоемов был представлен 15 зоопланктерами: Cladocera (ветвистоусые рачки) – 9 видов Copepoda (веслоногие рачки) – 4 вида; Rotatoria (колесовики) – 2 вида. По коли-

чественному и качественному составу все зоопланктонные сообщества характеризовались как кладоцерно-копеподные, со значительным преобладанием кладоцер (табл. 3). В большинстве случаев в доминирующую группу входили мелкие веслоногие рачки *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *Bosmina (Eubosmina) coregoni* и разнообразные дафнии. Исключение составили оз. Себентий (правый берег р. Вычегда) и р. Виледь (левый приток р. Вычегда), где в значительных количествах присутствовали мелкие циклопоиды *Thermocyclops oithonoides*. Количественные показатели зоопланктона были повсеместно невысоки и позволяют отнести р. Вычегда и ее притоки к олиготрофным водоемам [Китаев, 1984 (Kitaev, 1984)], малокормным для рыб-планктофагов [Пидгайко, 1968 (Pidgayko, 1968)].

Полученные данные полностью согласуются с исследованиями прошлых лет и соответствуют текущему вегетационному периоду. [Батурина, 2020 (Baturina, 2020)].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из выполненных первичных и современных исследований в рамках государственного контракта Министерства Агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области – № 23_01_09_21 и 24_01_08_21 альгофлору данных водотоков можно охарактеризовать

как диатомово-зеленую с заметной долей содержания синезеленых водорослей. Анализ значений индексов показал сложность структуры и видового богатства альгоценозов, характерные для олиготрофных вод. По степени загрязненности все водотоки относятся к олигосапробным.

Таблица 3. Структура зоопланктонных сообществ в нижнем течении р. Вычегды и ее притоков (август 2021 г.)**Table 3.** Structure of zooplankton communities of the Vychegda River and its tributaries (August 2021)

Таксоны Taxons	р. Вычегда		Правобережная часть бассейна реки The right-bank part of the river basin		Левобережная часть бассейна реки The left bank of the river basin	
	Доля от общей численности, % Share of the total number, %	Доля от общей биомассы, % Share of total biomass, %	Доля от общей численности, % Share of the total number, %	Доля от общей биомассы, % Share of total biomass, %	Доля от общей численности, % Share of the total number, %	Доля от общей биомассы, % Share of total biomass, %
Cladocera	92	91.2	79.5	88.9	75	81.5
Copepoda	6	8.5	18.2	10.6	23	18.3
Rotatoria	2	0.3	2.3	0.5	2	0.2
Число видов Number of species	10		13		11	

Зоопланктонные сообщества исследованных водоемов характеризовались как кладоцернокопеподные, со значительным преобладанием кладоцер. Водоемы по уровню биомассы классифицировались как олиготрофные, малокормные для рыб-планктофагов.

Для более глубокого изучения экологического состояния водотоков необходимо продолжить исследования видового разнообразия, структуры, сезонной и межгодовой динамики планктонных сообществ р. Вычегда на регулярной и долгосрочной основе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Северного филиала ФГБНУ «ВНИРО»: Илларионову В. А., Тимофееву В. И. за отбор проб и Ливицкому А. Л. за проектирование и составление карта-схемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Батурина М.А., Кононова О.Н., Елсаков В.В. Гидробиологические характеристики рек Вычегодского бассейна в различных единицах ландшафтного деления // Принципы экологии. 2020. Вып. 1. С. 4–26.
- Батурина М.А., Кононова О.Н., Фефилова Е.Б., Хохлова Л.Г., Зиновьева А.Н. Изученность водных беспозвоночных крупных рек республики Коми (Печора и Вычегда) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. Вып. 3 (27). С. 42–53.
- Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера. Л.: Наука, 1985. 165 с.
- Дедусенко-Щеголева Н.Т. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые // Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидробиологическая изученность. Т. 3. Северный край // под ред. Н.М. Жила. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 612 с.
- Забелина М.М. Дiatомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Наука, 1951. Вып. 4. С. 620–623.
- Зверева О.С. Особенности биологии главных рек Коми АССР в связи с историей их формирования. Л.: Наука, 1969. 279 с.
- Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Кононова О.Н. Зоопланктон реки Вычегда (Республика Коми) // Биология внутренних вод. 2009. № 2. С. 47–55.
- Кордэ Н.В. Количественный планктон реки Вычегды // Изв. Коми фил. Всесоюз. гидробиол о-ва. 1959. Вып. 5. С. 111–120.
- Неверова-Дзюпак Е. Оценка трофического состояния поверхностных вод: монография. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 33 с.
- Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2013 год. Архангельск: ФГБУ «Северное УГМС», 2014. 236 с.
- Патова Е.Н., Стенина А.С., Стерлигова И.Н., Рябова Е.А. Фитопланктон водных объектов бассейна р. Вычегды // Биология внутренних вод. 2018. № 2. С. 11–19.
- Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И. и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов северо-запада СССР // Известия ГосНИОРХ. 1968. Т. 67. С. 205–228.
- Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Программа курса лекций по гидробиологии. М.: МАКС Пресс, 2004. С. 167–185.
- Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Университет и школа, 2003. С. 155–157.
- Сафанова Т.А. Родовой спектр водорослей – показатель особенностей альгофлоры // Материалы VI закарпат. конф. по спор. раст. Тбилиси: Ин-т. бот. АН ГССР, 1983. С. 35–36.

- Татаринов А.Г. Видовое разнообразие и методы его оценки: учеб. пособие. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2010. 40 с.
- Шаров А.Н. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. 113 с.
- Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
- Шкорбатов Л.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Наука, 1959. Вып. 8. С. 223–230.
- Шуберт Р. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем. М.: Мир, 1998. 348 с.
- Pielou E.C. The measurement of diversity in different types of biological collection // *Journal of Theoretical Biology*. 1966. Vol. 13. P. 131–144.
- WoRMS (World Register of Marine Species. 2018-12-09. DOI: 10.14284/170)

REFERENCES

- Abakumov V.A. Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnyh ekosistem [Guidance on hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1992. 318 p. (In Russian)
- Baturina M.A., Kononova O.N., Elsakov V.V. Hydrobiological characteristics of the rivers of the Vychegodsk basin in different units of landscape division. *Principles of Ecology*, 2020, vol. 1, pp. 4–26. (In Russian)
- Baturina M.A., Kononova O.N., Fefilova E.B., Khokhlova L.G., Zinovieva A.N. Study of aquatic invertebrates of large rivers of the Komi Republic (Pechora and Vychegda). *Proceedings of the Komi Scientific Center UB RAS*, 2016, vol. 3 (27), pp. 42–53. (In Russian)
- Dedusenko-Shchegoleva N.T. Green algae. Volvox class. *Surface water resources of the USSR: hydrological study. Vol. 3, North Territory*. L., Hydrometeoizdat, 1965. 612 p. (In Russian)
- Getsen M.V. Vodorosli v ekosistemah Krajnego Severa [Algae in the ecosystems of the Far North]. Leningrad, Nauka, 1985. 165 p. (In Russian)
- Kitaev S.P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznyh prirodnyh zon [Ecological bases of bioproductivity of lakes of different natural zones]. Moscow, Nauka, 1984. 207 p. (In Russian)
- Kononova O.N. Zooplankton of the Vychegda River (Komi Republic). *Inland Waters Biology*, 2009, vol. 2, pp. 47–55. (In Russian)
- Korde N.V. Kolichestvennyj plankton reki Vychegdy [Quantitative plankton of the Vychegda River]. *Izv. Komi branch of All-Union Hydrobiological Society*, 1959, vol. 5, pp. 111–120. (In Russian)
- Neverova-Dziopak E. Ocenka troficheskogo sostoyaniya poverhnostnyh vod: monografiya [Evaluation of the trophic state of surface waters: a monograph]. SPb, SPbGASU, 2020. 33 p. (In Russian)
- Obzor zagryazneniya okruzhayushchej sredy na territorii deyatel'nosti FGBU "Severnoe UGMS" za 2013 god [Review of Environmental Pollution in the Territory of the Federal State Budgetary Institution "Northern UGMS" for 2013]. Arkhangelsk, Federal State Budgetary Institution "Northern UGMS", 2014. 236 p. (In Russian)
- Patova E.N., Stenina A.S., Sterligova I.N., Ryabova E.A. Phytoplankton of water bodies in the Vychegda River basin. *Inland Waters Biology*, 2018, vol. 2, pp. 11–19. (In Russian)
- Pidgayko M.L., Aleksandrov B.M. Ioffe C.I. et al. A brief biologically productive characteristic of water bodies in the northwest of the USSR. Leningrad, Izvestiya GosNIORKh, 1968, vol. 67, pp. 205–228. (In Russian)
- Pielou E.C. The measurement of diversity in different types of biological collection. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, vol. 13, pp. 131–144.
- Sadchikov A.P. Metody izucheniya presnovodnogo fitoplanktona: metodicheskoe rukovodstvo [Methods for studying freshwater phytoplankton: a methodical guide]. Moscow, University and School, 2003, pp. 155–157. (In Russian)
- Sadchikov A.P., Kudryashov M.A. Program of lectures on hydrobotany. Moscow, MAKS Press, 2004, pp. 167–185. (In Russian)
- Safanova T.A. Genus spectrum of algae – indicator of algoflora peculiarities. *Proceedings of VI Transcaucasian Conference on Spor.* Tbilisi, In-t. bot AN GSSR, 1983. pp. 35–36. (In Russian)
- Schubert R. Bioindikaciya zagryaznenij nazemnyh ekosistem [Bioindication of pollution of terrestrial ecosystems]. Moscow, Mir, 1998, 348 p. (In Russian)
- Sharov A.N. Fitoplankton vodoemov Kol'skogo poluostrova [Phytoplankton of water reservoirs of the Kola Peninsula]. Petrozavodsk, Karelian scientific center of RAS, 2004, 113 p. (In Russian)
- Shitikov V.K. Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoj identifikacii [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Togliatti, IEB RAS, 2003, 463 p. (In Russian)
- Shkorbatov L.A. Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR [A definer of freshwater algae of the USSR]. Moscow, Nauka, 1959, vol. 8, pp. 223–230. (In Russian)
- Tatarinov A.G. Vidovoe raznoobrazie i metody ego ocenki: ucheb. posobie [Species diversity and methods of its assessment: manual]. Syktывkar, Izd-vo Komi NC UrO RAN, 2010, 40 p. (In Russian)
- WoRMS (World Register of Marine Species. 2018-12-09. doi: 10.14284/170)
- Zabelina M.M. Diatomovye vodorosli [Diatom algae]. *Opredelitel' presnovodnyh vodoroslej SSSR*. Moscow, Nauka, 1951, vol. 4. pp. 620–623. (In Russian)
- Zvereva O.S. Osobennosti biologii glavnyh rek Komi ASSR v svyazi s istoriej ih formirovaniya [Peculiarities of biology of the main rivers of the Komi ASSR in connection with the history of their formation]. Leningra, Nauka, 1969. 279 p. (In Russian)

CURRENT STATE OF PLANKTON COMMUNITIES OF THE LOWER VYCHEGDA RIVER AND ITS TRIBUTARIES

E. V. Medvedeva, N. G. Otchenash, I. Yu. Makedonskaya

Northern Branch of FGBNU VNIRO,

163002 Arkhangelsk, Uritskogo str. 17, e-mail: medvedeva23@pinro.ru

Revised 28.03.2022

The work is a part of the comprehensive studies of the rivers and lakes of the south-east of the Arkhangelsk region, carried out in 2021 for the purpose of development of aquaculture of inland water bodies. The data on the species diversity and structure of plankton communities of freshwater bodies belonging to the Vychegda River watershed were obtained. Taxonomic composition of phytoplankton in summer period of 2021 was shown. Species diversity was estimated using Shannon index based on relative abundance of species, Menchinic index to determine species abundance, and Jaccard's similarity coefficient. Pantle-Bucca saprobicity index was calculated to assess pollution of natural waters. Evaluation of watercourses trophicity based on the obtained indicators of phytoplankton and zooplankton was carried out. We have identified 192 taxa of microalgae from 8 divisions and 15 species of zooplankton from three systematic groups. Green and diatom algae were found to be the basis of the algoflora. The zooplankton community was cladoceric-copepodic. New data on the state of the phytoplankton community can serve as an informational and methodological basis for the development of ecological monitoring programs for the aquatic ecosystems of the region. The results of the research can be used to assess the fish productivity of the Arkhangelsk region water bodies and to calculate the damage to aquatic bioresources from economic activities.

Keywords: phytoplankton, zooplankton, species diversity, taxonomic groups, indices, Vychegda river basin

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РЕДКИХ ДЛЯ ФЛОРЫ РОССИИ ВИДОВ РОДА *ACHNANTHIDIUM* (BACILLARIOPHYTA)

С. И. Генкал¹, Т. В. Еремкина²

¹Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н; e-mail: genkal@ibiw.ru

²Уральский филиал федерального государственного бюджетного научного
учреждения “Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии” (Уральский филиал ФГБНУ “ВНИРО”)
620086, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 5; e-mail: tver60@mail.ru

Поступила в редакцию 1.04.2022

Изучение фитопланктона Нижнетагильского водохранилища с помощью сканирующей электронной микроскопии позволило получить сведения по морфологии ряда представителей рода *Achnantheidium*: *A. catenatum*, *A. dolomiticum*, *A. eutrophilum*, *A. saprophilum*. Выявлены диапазоны изменчивости основных количественных диагностических признаков (длина и ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм), получены новые значения по некоторым из них, а для видов *A. catenatum*, *A. dolomiticum*, *A. eutrophilum* получены первые данные по такому важному ультраструктурному признаку, как число ареол в 10 мкм.

Ключевые слова: Нижнетагильское водохранилище, фитопланктон, Bacillariophyta, *Achnantheidium*, электронная микроскопия, морфологическая изменчивость.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-56-61

ВВЕДЕНИЕ

Изучение изменчивости диатомовых водорослей, ее направленность и границы чрезвычайно важны для систематики этой группы [Диатомовые..., 1974 (Diatomovye..., 1974)]. Диагностические признаки представителей Bacillariophyta отличаются степенью их постоянства, имеют разную ценность и к наименее изменчивым относятся такие количественные диагностические признаки, как число штрихов и ареол в 10 мкм [Михайлов, 1982 (Mikhaylov, 1982); Генкал, 1983, 1984 (Genkal, 1983, 1984); Генкал и др., 2007 (Genkal et al., 2007) и др.]. Данных по морфологической изменчивости отдельных популяций представителей рода *Achnantheidium* s.l. немного. Ее изучение у 9 видов показало значительную изменчивость как качественных (форма створки, осевого и среднего поля), так количественных (длина и ширина створки, число штрихов в 10 мкм) признаков [Генкал, Харитонов, 2012 (Genkal, Kharitonov, 2012)].

Род *Achnantheidium* Kützinger описан в 1844 г. [Kützinger, 1844]. В настоящее время для России известно порядка 20 представителей диатомовых водорослей этого рода и в последние годы были зафиксированы и новые виды для ее флоры [Генкал, Вехов, 2007 (Genkal, Vekhov, 2007); Генкал, Трифонова, 2009 (Genkal, Trifonova, 2009); Генкал и др., 2011, 2015 (Genkal et al., 2011, 2015); Куликовский и др., 2016 (Kulikovskiy et al., 2016); Чудаев, Гололобова, 2016 (Chudaev, Gololobova, 2016); Генкал, Ярушина, 2018 (Genkal, Yarushina, 2018)]. При этом, ряд форм определены только до рода и требуют уточнения систематического положения [Генкал и др., 2015 (Genkal et al., 2015); Генкал, Ярушина, 2018 (Genkal, Yarushina, 2018)].

Цель исследования – изучение морфологической изменчивости редких для флоры России диатомовых водорослей рода *Achnantheidium*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужил фитопланктон Нижнетагильского водохранилища, собранный в 2006, 2012, 2016 и 2017 гг. Водоем расположен на территории г. Нижний Тагил, ниже по течению р. Тагил в 301 км выше ее устья (57°51'24.81"с.ш., 59°58'57.63"в.д.), входит в каскад водохранилищ в бассейне р. Тагил (Обь-Иртышский бассейн). Эксплуатируется с 1725 г. Основное назначение – производственное водоснабжение промышленных предприятий г. Нижний Тагил. Вода водохранилища пресная, среднеминерализованная, водоем от-

носится к эвтрофным водным экосистемам [Водные ..., 2004 (Vodnye..., 2004)]. Пробы фитопланктона отбирали батометром Руттнера с мая по сентябрь на постоянных станциях наблюдений, последовательно с каждого метрового горизонта от поверхности до дна, смешивали в одной емкости и брали интегральную пробу объемом 0.5 л, фиксировали формалином и обрабатывали в лаборатории в соответствии с общепринятыми методами [Методика..., 1975 (Metodika..., 1975); Методические..., 1981 (Metodicheskie..., 1981)]. Освобождение

створок диатомей от органического вещества проводили методом холодного сжигания [Балонов, 1975 (Balonov, 1975)]. Суспензия очищенных створок наносилась на алюминиевые столики и после высушивания проводили напыление

золотом в напылительной установке Eiko IB 3. Приготовленные препараты изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6510LV в Институте биологии внутренних вод РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Achnantheidium catenatum (Bily et Marvan) Lange-Bertalot (рис. а, b). Наши данные по качественным (форма створки и ее центрального поля, расположение шва и штрихов) и количественным (длина и ширина створки, число

штрихов в 10 мкм) признакам соответствуют литературным источникам (см. таблицу). Получены первые данные по такому важному диагностическому признаку, как число ареол в 10 мкм штриха (см. таблицу).

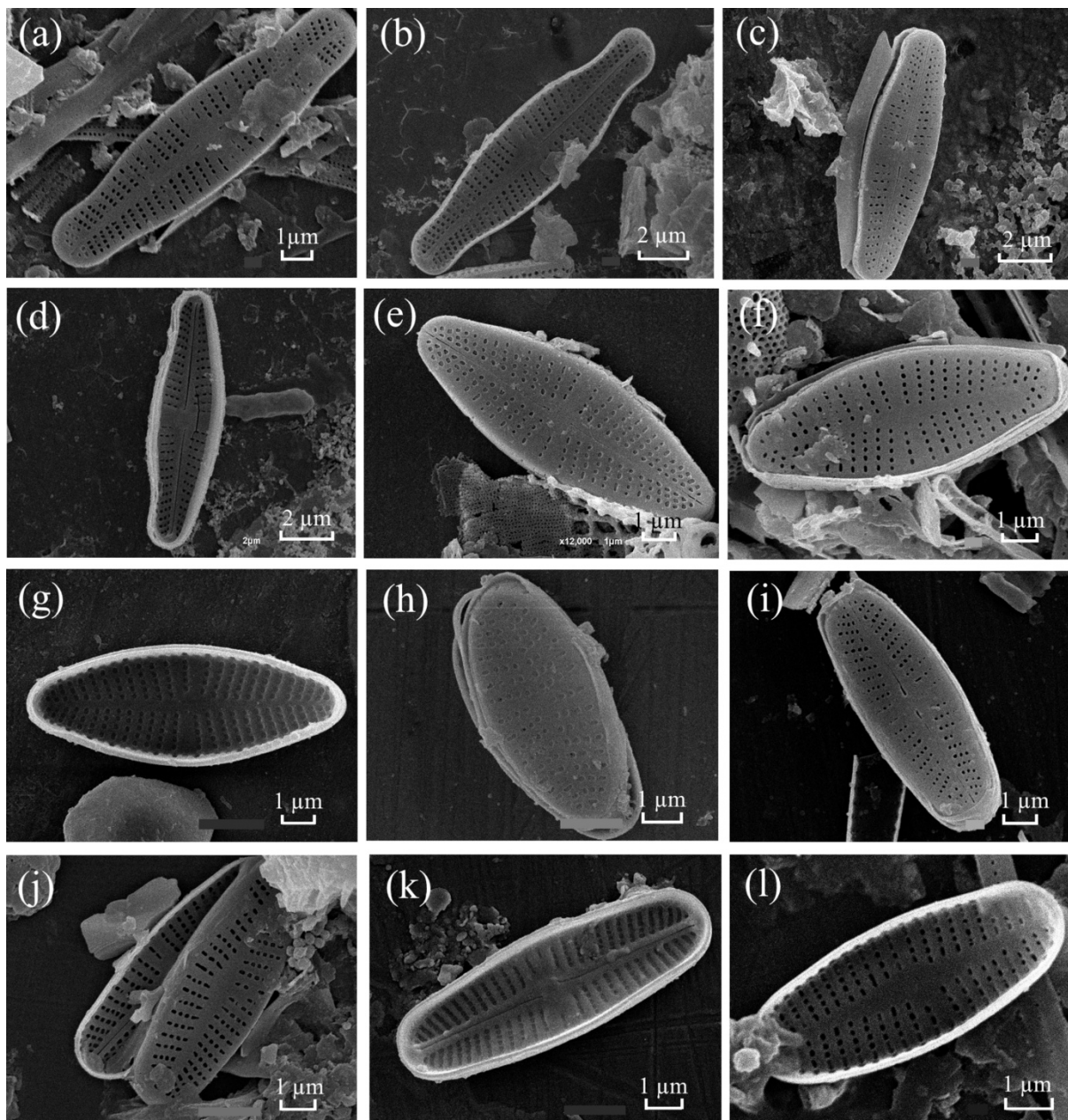


Рис. Электронные микрофотографии створок (СЭМ). а, b – *Achnantheidium catenatum*; c, d – *A. dolomiticum*; e–h – *A. eutrophilum*; i–o – *A. saprophilum*. а, c, e, f, h–m – створки с наружной поверхности; b, d, g, l, o – створки с внутренней поверхности.

Fig. Valves electron micrographs (SEM). а, b – *Achnantheidium catenatum*; c, d – *A. dolomiticum*; e–h – *A. eutrophilum*; i–o – *A. saprophilum*. а, c, e, f, h–m – external view of the valve; b, d, g, l, o – internal view of the valve.

Диапазоны изменчивости количественных морфологических признаков исследованных видов рода *Achnanthidium*Variability ranges of quantitative morphological characters of the studied species of the genus *Achnanthidium*

Длина створки, мкм Length of valve, µm	Ширина створки, мкм Width of valve, µm	Число штрихов в 10 мкм Number of striae in 10 µm	Число ареол в 10 мкм Number of areolae in 10 µm	Источник References
<i>A. catenatum</i>				
9–16	3.0–3.5	28–30	nd	Bily, Marvan, 1959
10.0–17.5	2.8–3.6	30–34		Hlubikova et al., 2011
9–16	3.0–3.5	28–30		Lange-Bertalot et al., 2017
11.2–12.8	2.9–3.6	28–32	45–60	Наши данные
<i>A. dolomiticum</i>				
5–12	2.6–3.8	33–35		Cantonati, Lange-Bertalot, 2006
5.0–10.1	2.5–3.5	33–35		Hlubikova et al., 2011
7.5–11.4	2.2–3.0	30–32	50–60	Наши данные
<i>A. eutrophilum</i>				
4–18	3–4	24–27		Lange-Bertalot, Metzeltin, 1996
7.5–16.0	3.2–4.8	25–30		Hlubikova et al., 2011
4–19	3–5	23–27		Lange-Bertalot et al., 2017
4–19	3–5	23–27		Peeters, Ector, 2018
6.8–13.0	2.7–3.6	24–32	35–45	Наши данные
<i>A. saprophilum</i>				
8–15	3–4	28–32		Krammer, Lange-Bertalot, 1991
9.5–14.5	3.0–3.6	28–31		Hlubikova et al., 2011
8–12	3–4			Morales et al., 2011
9.0–14.5	3.0–3.5	31–35	50	Bukhtiyarova, 2015
8–15	3–4	28–32		Куликовский и др., 2016
9.9–12.5	2.8–3.5	26–29	43	Чудаев, Гололобова, 2016
8–15	3–4	28		Lange-Bertalot et al., 2017
6.8–12.8	2.6–3.3	26–35	50–80	Наши данные

Примечание. “nd” – нет данных.**Note.** “nd” – no date.

Ниже приводится уточненный диагноз вида с учетом литературных и наших данных.

Achnanthidium catenatum (Bily et Marvan) Lange-Bertalot (рис. a, b).

Створки линейно-эллиптические с широко головчатыми концами. Длина 9.0–17.5 мкм, ширина 2.8–3.6 мкм. Шовная створка имеет очень узкое осевое поле, среднее округлое или почти отсутствует.

Шов прямой, нитевидный, с наружной поверхности проксимальные концы слегка каплевидные, с внутренней – заканчиваются геликтоглоссами. На бесшовной створке осевое поле узко ланцетное, среднее от небольшого ланцетного до ромбовидного. Штрихи слабо-радиальные, 28–34 в 10 мкм, ареол 45–60 в 10 мкм. На загибе створки имеется один ряд щелевидных ареол.

A. dolomiticum Cantonati et Lange-Bertalot (рис. c, d). В исследованной популяции данные по качественным (форма створки и ее центрального поля, расположение шва и штрихов)

и количественным (длина и ширина створки, число штрихов в 10 мкм) признакам соответствуют литературным данным (см. таблицу). Исключение составляют минимальные значения ширины створки и числа штрихов в 10 мкм, которые в исследованном материале отличаются в меньшую сторону (см. таблицу). Получены первые данные по такому важному диагностическому признаку, как число ареол в 10 мкм штриха (см. таблицу). Ниже приводится уточненный диагноз вида с учетом литературных и наших данных.

Achnanthidium dolomiticum Cantonati et Lange-Bertalot (рис. c, d).

Створки от эллиптических до линейно-эллиптических, концы широко закругленные, у более крупных экземпляров широко вытянутые. Длина 5–12 мкм, ширина 2.2–3.8 мкм. Шовная створка имеет очень узкое осевое поле, среднее в виде фасции. Шов прямой, нитевидный, с наружной поверхности проксимальные концы имеют каплевидную форму,

с внутренней — заканчиваются геликтоглоссами. Бесшовная створка имеет узко ланцетное осевое поле, среднее в виде невыраженной фасции. Штрихи слаборадиальные, 30–35 в 10 мкм, ареол 50–60 в 10 мкм. На загибе створки имеется один ряд щелевидных ареол.

A. eutrophilum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (рис. е–h). В исследованной популяции данные по качественным (форма створки и ее центрального поля, расположение шва и штрихов) и количественным (длина и ширина створки, число штрихов в 10 мкм) признакам соответствуют литературным данным (см. таблицу). Исключение составляют минимальное значение ширины створки и максимальное число штрихов в 10 мкм (см. таблицу). В изученной популяции первый признак исследованном материале отличается в меньшую сторону, а второй — в большую (см. таблицу). Получены первые данные по такому важному диагностическому признаку, как число ареол в 10 мкм штриха (см. таблицу).

Ниже приводится уточненный диагноз вида с учетом литературных и наших данных.

Achnanthidium eutrophilum (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot (рис. е–h).

Створки от ромбических-эллиптических до ромбически-ланцетных, концы узко закругленные. Длина 4–19 мкм, ширина 2.7–4.8 мкм. Шовная и бесшовная створки имеют узкое линейное осевое поле, центральное поле от ланцетного до ромбического. Шов прямой, нитевидный, с наружной поверхности концы имеют каплевидную форму, с внутренней — заканчиваются геликтоглоссами. Штрихи радиальные, 23–32 в 10 мкм, ареол 35–45 в 10 мкм, 2–3 средних штриха обычно расположены на большем расстоянии друг от друга. На загибе створки имеется один ряд ареол двух типов: щелевидные или овальные.

A. saprophilum (Kobayasi et Mayama) Round et Bukhtiyarova (рис. l–o). В нашем материале данные по качественным (форма

створки и ее центрального поля, расположение шва и штрихов) и количественным (длина и ширина створки, число штрихов и ареол в 10 мкм) признакам совпадают с опубликованными данными (см. таблицу). Исключение составляют минимальные значения длины и ширины створки: в исследованной популяции отличаются в меньшую сторону, а число ареол в 10 мкм штриха показало значительную вариабельность (см. таблицу). Ниже приводится уточненный диагноз вида с учетом литературных и наших данных.

Achnanthidium saprophilum (Kobayasi et Mayama) Round et Bukhtiyarova (рис. l–o).

Створки линейно-эллиптические со слегка оттянутыми широко закругленными концами. Длина 6.8–15.0 мкм, ширина 2.6–4.0 мкм. Шовная створка имеет очень узкое осевое поле, среднее, вытянуто-ромбическое, в виде фасции, ограничено несколькими укороченными штрихами. Шов прямой, нитевидный, с наружной поверхности проксимальные концы имеют каплевидную форму, с внутренней — заканчиваются геликтоглоссами. Бесшовная створка имеет узко или широко ланцетное осевое поле. Штрихи слабо радиальные, 26–35 в 10 мкм, ареол 43–80 в 10 мкм. На загибе створки имеется один ряд щелевидных ареол.

A. catenatum и *A. dolomiticum* имеют большое сходство по общему абрису (рис. а–g) и по диапазонам количественных признаков (см. таблицу). Виды различаются формой створки и среднего поля. Отмеченные у ряда исследованных видов отличия в диапазонах изменчивости количественных признаков обусловлены, по нашему мнению, межпопуляционной изменчивостью, которая имеет место и у представителей других родов пеннатных диатомовых водорослей [Генкал, 2014 (Genkal, 2014); Genkal, Yarushina, 2017, 2018, 2019; Генкал, Ярушина, 2020 (Genkal, Yarushina, 2020)].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы представители Bacillariophyta *Achnanthidium catenatum*, *A. dolomiticum*, *A. eutrophilum* и *A. saprophilum*. Выявлена вариабельность основных количественных диагности-

ческих признаков, включая новые данные по некоторым из них. Получены первые сведения по такому важному ультраструктурному признаку, как число ареол в 10 мкм.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 121051100099-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балонов И.М. Подготовка водорослей к электронной микроскопии // Методика изучения биогеоценозов. М.: Наука. 1975. С. 87–89.
Водные ресурсы Свердловской области. Екатеринбург: Издательство АМБ, 2004. 432 с.

- Генкал С.И. К вопросу о морфологической изменчивости некоторых широко распространенных и редких видов рода *Navicula* (Bacillariophyta) // Новости систематики низших растений. 2014. Т. 38. С. 38–49. DOI: 10.31111/nsnr/2014.48.38
- Генкал С.И., Бондаренко Н.А., Щур Л.А. Диатомовые водоросли озер юга и севера Восточной Сибири. Рыбинск: Рыбинский Дом печати. 2011. 72 с.
- Генкал С.И., Вехов Н.В. Диатомовые водоросли водоемов Русской Арктики. М.: Наука. 2007. 64 с.
- Генкал С.И., Трифонова И.С. Диатомовые водоросли планктона Ладожского озера и водоемов его бассейна. Рыбинск: Рыбинский Дом печати. 2009. 72 с.
- Генкал С.И., Ярушина М.И. Виды рода *Genkalia* (Bacillariophyta) в России: морфология, таксономия, распространение // Ботанический журнал. 2020. Т. 105, № 1. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0006813620010081
- Генкал С.И., Ярушина М.И. Диатомовые водоросли слабоизученных водных экосистем Крайнего Севера Западной Сибири. М.: Научный мир. 2018. 212 с.
- Генкал С.И. Закономерности изменчивости основных структурных элементов панциря у диатомовых водорослей рода *Cyclotella* Kütz. // Биология внутренних вод. Л. 1983. № 61. С. 14–16.
- Генкал С.И. О морфологической изменчивости основных элементов створки у видов рода *Stephanodiscus* (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1984. Т. 69. № 3. С. 403–408.
- Генкал С.И., Куликовский М.С., Стенина А.С. Изменчивость основных структурных элементов створки некоторых видов рода *Navicula* (Bacillariophyta) // Биология внутренних вод. 2007. № 2. С. 20–25.
- Генкал С.И., Чекрыжева Т.А., Комулайнен С.Ф. Диатомовые водоросли водоемов и водотоков Карелии. М.: Научный мир. 2015. 202 с.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Л.: Наука. Т.1. 1974. 403 с.
- Куликовский М.С., Глущенко А.Н., Генкал С.И., Кузнецова И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань. 2016. 804 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. 1975. М. 240 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция. Л., 1981. 32 с.
- Михайлов В.И. Оценка таксономических признаков видов рода *Nitzschia* (Bacillariophyta) // Ботанический журнал. 1982. Т. 67, № 8. С. 1090–1094.
- Чудаев Д.А., Гололобова М.А. Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область). М.: Товарищество научных изданий КМК. 2016. 447 с.
- Bilý J., Marvan P. *Achnanthes catenata* sp. n. // Preslia. 1959. Vol. 31. P. 34–35.
- Bolivia, South America 3: diatoms from Sehucenas, Carrasco National Park, Department of Cochabamba // Acta Bot. Croat. 2009. Vol. 68. P. 263–283.
- Bukhtiyarova L.M. *Achnantheidium saprophilum* (Bacillariophyta), first record in algae flora of Ukraine. Regional aspects of floristic and faunistic researches // Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень: матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції (24–25 квітня 2015 р., смт Путиля). М-во екології та природн. ресурсів України, Нац. природн. парк “Черемоський” та ін. – Чернівці: Друк Арт. 2015. с. 168–171.
- Cantonati M., Lange-Bertalot H. *Achnantheidium dolomiticum* sp. nov. (Bacillariophyta) from oligotrophic mountain springs and lakes fed by dolomite aquifers. // J. Phycol. 2006. Vol. 42. P. 1184–1188.
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Species of the genus *Geissleria* (Bacillariophyta) in Russia: morphology, taxonomy and distribution // Inland Water Biology. 2018. Vol. 11, № 4. P. 387–395. DOI: 10.1134/S1995082918040077
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Species of the genus *Hippodonta* (Bacillariophyta) in Russia: morphology, taxonomy and distribution // Int. J. Algae. 2019. Vol. 21, no. 3. P. 199–216. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v21.i3.10
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Taxonomy, morphology and distribution of a rare species *Navicula schmassmannii* Hust. (Bacillariophyta) // Int. J. Algae. 2017. Vol. 19. Issue 3. P. 241–248. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v19.i3.40
- Hlúbíková D., Ector L., Hoffmann L. Examination of the type material of some diatom species related to *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarn. (Bacillariophyceae) // Algological Studies. 2011. Vol. 136–137. P. 19–43.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. // Süßwasserflora von Mitteleuropa, 1991. Band 2/4: Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena. S. 1–437.
- Kützing F.T. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. 1844. 152 p.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmitten-Oberreifenberg. 2017. 942 p.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Oligotrophie-Indikatoren. 800 Taxa repräsentativ für drei diverse Seen-Typen, kalkreich – oligodystroph – schwachgepuffertes Weichwasser // Iconographica Diatomologica. 1996. Vol. 2. P. 7–390.
- Morales E. A., Fernández E., Kociolek P. J. Epilithic diatoms (Bacillariophyta) from cloud forest and alpine streams in Peeters V., Ector L. 2018. Atlas des diatomées des cours d’eau du territoire bourguignon. Vol. 2: Monoraphidées, Brachyraphidées. Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement Bourgogne-Franche-Comté, Dijon. 2018. 271 p.

REFERENCES

- Balonov I.M. Preparation of algae for electron microscopy. Metodika izucheniya biogeotsenozov [Methods for the study of biocenoses]. Moscow, Nauka, 1975. 87–89 p. (In Russian)
- Bilý J., Marvan P. *Achnanthes catenata* sp. n. *Preslia*, 1959, vol. 31, pp. 34–35.
- Bukhtiyarova L.M. *Achnanthidium saprophilum* (Bacillariophyta), first record in algae flora of Ukraine. Regional aspects of floristic and faunistic researches. *Regional'ni aspekti floristichnih i faunistichnih doslidzhen': materialy Drugoї mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii (24–25 kvitnya 2015 r., smt Putila). M-vo ekologii ta prirodo. resursiv Ukraїni, Nac. prirod. park "CHermos'kij" ta in.* Chernivci, Druk Art, 2015, pp. 168–171.
- Cantonati M., Lange-Bertalot H. *Achnanthidium dolomiticum* sp. nov. (Bacillariophyta) from oligotrophic mountain springs and lakes fed by dolomite aquifers. *J. Phycol.*, 2006, vol. 42, pp. 1184–1188.
- Chudaev D.A., Golobova M.A. *Diatomovye vodorosli ozera Glubokogo (Moskovskaya oblast)* [Diatoms of Lake Glubokoe (Moscow Region)]. Moscow, Association of Scientific Publications KMK, 2016. 447 p. (In Russian)
- Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemue i sovremennue) [Diatoms of the USSR (fossil and modern)]. L., Nauka, 1974. Vol. 1. 403 p. (In Russian)
- Genkal S.I. On morphological variability of some widespread and rare species of the genus *Navicula* (Bacillariophyta). *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*, 2014, vol. 38, pp. 38–49 (In Russian). doi: 10.31111/nsnr/2014.48.38
- Genkal S.I. On morphological variability of the main structural elements of the valve in the species of the genus *Stephanodiscus* (Bacillariophyta). *Botanicheskiy zhurnal*, 1984, vol. 69, no. 3, pp. 403–408 (In Russian)
- Genkal S.I. Regularities in variability of the main structural elements in frustule diatom algae of the genus *Cyclotella* Kütz. *Biologiya vnutrennikh vod*, 1983, no. 61, pp. 14–16 (In Russian)
- Genkal S.I., Bondarenko N.A., Shchur L.A. *Diatomovye vodorosli ozer yuga i severa Vostochnoy Sibiri* [Diatoms of Lakes in the South and North of Eastern Siberia]. Rybinsk, Rybinskiy Dom Pechati, 2011. 72 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Chekryzheva S.A., Komulaynen S.F. *Diatomovye vodorosli vodoemov i vodotokov Karelii* [Diatom algae in waterbodies and watercourses of Karelia]. Moscow, Scientific World, 2015. 202 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Kulikovskiy M.S., Stenina A.S. Variability of main structural elements of a valve of some species of the genus *Navicula* (Bacillariophyta). *Biologiya vnutrennikh vod*, 2007, no. 2, pp. 20–25. (In Russian)
- Genkal S.I., Trifonova I.S. *Diatomovye vodorosli planktona Ladozhskogo ozera i vodoemov ego basseyna* [Diatom algae of the plankton of Lake Ladoga and water-bodies of its basin]. Rybinsk, Rybinskiy Dom Pechati. 2009. 72 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Vekhov N.V. *Diatomovye vodorosli vodoemov Russkoi Arktiki* [Diatoms of water bodies of the Russian Arctic]. Moscow, Nauka. 2007. 64 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Species of the genus *Geissleria* (Bacillariophyta) in Russia: morphology, taxonomy and distribution. *Inland Water Biology*, 2018, vol. 11, no. 4, pp. 387–395. doi: 10.1134/S1995082918040077
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Species of the genus *Hippodonta* (Bacillariophyta) in Russia: morphology, taxonomy and distribution. *Int. J. Algae*, 2019, vol. 21, no. 3, pp. 199–216. doi: 10.1615/InterJAlgae.v21.i3.10
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Taxonomy, morphology and distribution of a rare species *Navicula schmassmannii* Hust. (Bacillariophyta). *Int. J. Algae*, 2017, vol. 19, Issue 3, pp. 241–248. doi: 10.1615/InterJAlgae.v19.i3.40
- Genkal S.I., Yarushina M.I. *Diatomovye vodorosli slaboizuchennykh vodnykh ekosistem Kraynego Severa Zapadnoy Sibiri* [Diatom algae of poorly studied aquatic ecosystem in the Far North of Western Siberia]. Moscow, Scientific World, 2018. 212 p. (In Russian)
- Genkal S.I., Yarushina M.I. Species of the genus *Genkalia* (Bacillariophyta) in Russia: morphology, taxonomy, distribution. *Botanicheskiy zhurnal*, 2020, vol. 105, no. 1, pp. 3–14. (In Russian). doi: 10.31857/S0006813620010081
- Hlúbíková D., Ector L., Hoffmann L. Examination of the type material of some diatom species related to *Achnanthidium minutissimum* (Kütz.) Czarn. (Bacillariophyceae). *Algological Studies*, 2011, vol. 136–137, pp. 19–43.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae 4. Teil: Achnanthaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1–4. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 1991. Band 2/4: Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena. 437 p.
- Kützing F.T. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Nordhausen, 1844. 152 p.
- Lange-Bertalot H., Hofmann G., Werum M., Cantonati M. Freshwater benthic diatoms of Central Europe. Schmitten-Oberreifenberg. 2017. 942 p.
- Lange-Bertalot H., Metzeltin D. Oligotrophie-Indikatoren. 800 Taxa repräsentativ für drei diverse Seen-Typen, kalkreich – oligodystroph – schwachgepuffertes Weichwasser. *Iconographica Diatomologica*, 1996, vol. 2, pp. 7–390.
- Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na ghtenodnykh vodoemakh. Phytoplankton i nego produktschiya [Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs]. L., 1981. 32 p. (In Russian)
- Metodika izucheniya biogeotsenozov [Methods for the study of biocenoses]. Moscow, Nauka, 1975. 240 p. (In Russian)
- Morales E.A., Fernández E., Kociolek J.P. Epilithic diatoms (Bacillariophyta) from cloud forest and alpine streams in Bolivia, South America 3: diatoms from Sehuenas, Carrasco National Park, Department of Cochabamba. *Acta Bot. Croat.*, 2009, vol. 68, pp. 263–283.
- Peeters V., Ector L. *Atlas des diatomées des cours d'eau du territoire bourguignon. Vol. 2: Monoraphidées, Brachyraphidées*. Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Bourgogne-Franche-Comté, Dijon, 2018. 271 p.

- Vodnye resursy Sverdlovskoy oblasti [Water resources of the Sverdlovsk region]. Yekaterinburg, AMB Publishing House, 2004. 432 p. (In Russian)
- Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.N., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. *Opredelitel' diatomovykh vodorosley Rossii* [Identification book of diatoms from Russia]. Yaroslavl, Filigran, 2016. 804 p. (In Russian)
- Mikhaylov V.I. Evaluation of taxonomic characters of species of the genus *Nitzschia* (Bacillariophyta). *Botanicheskiy zhurnal*, 1982. vol. 67, no. 8, pp. 1090–1094. (In Russian)

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF SPECIES OF THE GENUS *ACHNANTHIDIUM* (BACILLARIOPHYTA) RARE FOR THE FLORA OF RUSSIA

S. I. Genkal¹, T. V. Eremkina²

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia, e-mail: genkal@ibiw.ru*

²*Ural branch of the Federal State Budget Scientific Institution
“Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, e-mail: tver60@mail.ru*

The study of phytoplankton in the Nizhny Tagil Reservoir using scanning electron microscopy made it possible to obtain the data on morphology of some representatives of the genus *Achnantheidium*: *A. catenatum*, *A. dolomiticum*, *A. eutrophilum*, *A. saprophilum*. The ranges of variability of the main diagnostic features (length and width of the valve, number of striae and areolae in 10 µm) were found and new values were obtained for some of them; the first data on such an important ultrastructural feature as the number of areolae in 10 µm were obtained for the species *A. catenatum*, *A. dolomiticum*, and *A. eutrophilum*.

Keywords: Nizhny Tagil Reservoir, phytoplankton, Bacillariophyta, *Achnantheidium*, electron microscopy, morphological variability

НОВЫЙ ВИД РОГОЗА (*ТУРНА* L., *ТУРНАСЕАЕ*) С ЮЖНОГО САХАЛИНА

А. Н. Краснова¹, А. Н. Ефремов²

¹ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,

152742, пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия, e-mail: krasa@ibiw.ru

² Научно-исследовательский центр фундаментальных и прикладных проблем биоэкологии и биотехнологии

Ульяновского государственного педагогического университета им. И.Н. Ульянова,

432000, г. Ульяновск, пл. Ленина, д. 4/5, Ульяновская обл., Россия, e-mail: stratioties@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022

Приведены результаты сравнительно-морфологического анализа *Typha sakhalinica* A. Krasnova et Efremov. По морфологическим признакам *T. sakhalinica* отличается от европейского *T. latifolia*. Этот вид имеет тычиночные цветки с узкими пленчатыми пыльниками, крупную и одиночную пыльцу, деградированные цветки собраны в пучки по три. Растения менее крупные, стеблевые листья с влагалищами и пленчатыми ушками, направленными книзу. Предполагается, что *T. sakhalinica* является плейстоценовым видом, возникшим в результате изоляции острова Сахалина от материковой части Северо-Восточной Азии.

Ключевые слова: *Typha sakhalinica*, staminate flower, anthers, pollen, pistillate flower, carpodium, Sakhalin.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-62-67

ВВЕДЕНИЕ

Согласно опубликованным сведениям на территории острова Сахалин род *Typha* L. (*Typhaceae*) представлен двумя видами *T. latifolia* L. из секции *Typha* и *T. laxmannii* Lepesch. Из секции *Engleria* (Leonova) Tzvel. [Воробьев и др., 1974 (Vorobyov et al., 1974); Ворошилов, 1982 (Voroshilov, 1982); Цвелев, 1996 (Tsvelev, 1996); Баркалов, Таран, 2004 (Barkalov, Taran, 2004)]. Следует заметить, что *T. latifolia* является линнеоном, который состоит из группы близкородственных видов и гибридов [Kronfeld, 1889; Graebner, 1900; Комаров, 1901 (Komarov, 1901); Попов, 1957 (Popov, 1957); Победимова, 1949 (Pobedimova, 1949)]. *Typha latifolia* плюрегиональный (космо-политный) вид, повсеместно представленный на водоемах в европейской и азиатской России [Краснова, Ефремов, 2020 (Krasnova, Efremov, 2020)]. В.Л. Комаров в работе “Флора Маньчжурии” [1901 (Komarov, 1901)] указывал на морфологические отличия *T. latifolia* с территории северо-восточной части Китая. М.Г. Попов во “Флоре Средней Сибири” [Попов, 1957 (Popov, 1957)] также отмечал нетипичность *T. latifolia*. Нетождественность европейских и азиатских популяций поддерживала

Е.Г. Победимова [1949 (Pobedimova, 1949)], которая обосновала необходимость критического изучения отечественного материала *Typha*. С этой целью были исследованы гербарные коллекции *Typha*: Ботанического института им. В.Л. Комарова (г. Санкт-Петербург, LE), Биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (Москва, MW), Главного ботанического сада РАН (Москва, МНА), Коми научного центра (Сыктывкар, SYKO), Томского государственного университета (Томск, ТК), Иркутского государственного университета (ИРК), Института ботаники им. Холодного НАН Украины (Киев, KW) [Краснова, 1987 (Krasnova, 1987)]. Установлено, что растения *T. latifolia* из Сибири и Дальнего Востока отличаются по многим морфологическим признакам от европейских. В результате были описаны новые виды [Краснова, 1987 (Krasnova, 1987); Doweld, 2017]. Заметим, что гербарные образцы с территории Курильских островов и острова Сахалина в гербариях малочисленны. Современные сборы с Сахалина были критически пересмотрены, что и позволило описать новый вид.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Критически проанализированы гербарные материалы А.Н. Ефремова (2013–2019 гг.), хранящиеся в гербарии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (IBIW): Сахалинская область, Ногликский район, объединенный береговой технологический комплекс Сахалин Энерджи, промышленная площадка, копань, песчаный почвогрунт с грубодетритным наилком, глубина

0.00–0.3 м, фитоценоз с доминированием *Typha* sp., 15–25.VII.2013; там же, кювет вдоль дороги, фитоценоз *Typha* sp. – *Hippuris vulgaris* L., песчаный почвогрунт, глубина 0.00–0.5 м, 16–20.VIII.2019 (образец аномальный); там же, кювет вдоль дороги, фитоценоз *Typha* sp., песчаный почвогрунт, глубина 0.00–0.2 м, 16–20.VIII.2019; там же, 0 км автодороги Ноглики – объединенный береговой технологический

Сахалин Энерджи, кювет вдоль дороги, обсыхающий почвогрунт, фитоценоз *Typha* sp., 20.VIII.2019; Корсаковский район, вдоль автодороги Южно-Сахалинск – Охотское, кювет вдоль дороги, фитоценоз *Typha* sp., почвогрунт, глубина 0.1–0.5 м, 22.VIII.2019.

Отдельные органы исследованы методами световой микроскопии с использованием

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение структуры тычиночных и пестичных цветков растений с юга острова Сахалин показало, что они отличаются от *T. latifolia* по многим признакам (рис. 2). Тычинки узколинейной формы, с дважды перекрученным пыльником (рис. 2i, j), пыльца одиночная (рис. 2h). Пестичный цветок состоит из длинного столбика и широко-лепестковидного, вытянутого в верхней части рыльца (рис. 2c, d), у *T. latifolia* рыльце широко-ромбовидное (рис. 2e). Карпидии двух типов – одиночные, булавовидные с рафидами и в пучках по 3, с прицветничками (рис. 2g), у *T. latifolia* карпидии одиночные, продолговато-булавовидные и без рафидов (рис. 2h). Выявленные диагностические признаки позволили описать новый вид *Typha sakhalinica* A. Krasnova et Efremov.

Многолетник. Стебель до 150 см высотой. Стеблевые листья 0.8–1.0 см шириной, плоские, снизу слегка толстоватые, на вершине постепенно суженные, достигают соцветия. Края листовой пластинки подняты кверху на 1 мм. Стеблевые влагалища 1.6 см шириной, длинные, по краю широко-пленчатые, ушки направлены книзу. Тычиночная и пестичная части соцветия соприкасаются, нередко с промежутком 0.5 см. Тычиночная ось с белыми волосками, 10–12 см длиной. Тычиночный цветок с 1–3 тычинками. Пыльники узкие, пленчатые 3 мм длиной, 0.25 мм шириной, перекрученные. Пыльца простая, крупная, одиночная. Пестичная часть ≥ 15 см длиной, цилиндрическая темно-бурого цвета. Плодущий пестичный цветок 0.6 см длиной. Столбик длинный 3 мм. Рыльце широко-лепестковидное, вытянутое 2.5 мм длиной. Завязь веретеновидная 2.5 мм длиной. Деградирующие пестичные цветки (карпидии) 2 мм длиной, бледно-серые, булавовидные, короче волосков гинофора в пучках. Волоски гинофора многочисленные, достигают середины столбика. Семена веретеновидные. Цветет VIII–IX, плодоносит IX–X.

Тип: Россия, Сахалинская область, Корсаковский район, окрестности Корсакова, вдоль автодороги Южно-Сахалинск–Охотское–Корсаков, кювет вдоль дороги, фитоценоз *Typha* sp. (*T. sakhalinica*), почвогрунт, глубина

цифровой фотокамеры USB Electronic Eyepiece 5 MP. Результаты интерпретировали в рамках сравнительно-морфологического подхода. Фотографии местообитаний и общего вида растений выполнены с помощью “Canon PowerShot SX420” (рис. 1).

0.1–0.5 м, 22.VIII.2019, А.Н. Ефремов, голотип, IBIW (рис. 2a).

Растет в небольших пересыхающих водоемах, в нарушенных местообитаниях, на песчаных субстратах.

Распространен, вероятно, в южных районах острова Сахалин.

Отличается от *T. latifolia* небольшой высотой, стеблевыми листьями с пленчатыми ушками, направленными книзу, тычиночными цветками с узкими пленчатыми пыльниками, крупной, одиночной пылью, а также карпидиями в пучках по 3, с прицветничками.

Perennial. Stem is up to 150 cm tall. Cauline leaves are 0.8–1.00 cm wide, flat, slightly thick, gradually narrowed at the top, reaching the inflorescence. The edge of the leaf blade is raised upward by 1 mm. Leaf axils is ≥ 1.6 cm wide, long, broadly-filmy along the edge, auricles are downward directed. The staminate and pistillate parts are in contact, often with an interval 0.5 cm. The stamen part of the inflorescence is 10–12 cm long, it has got white hair. Stamen flower has got 1–3 stamens. Anthers are narrow, membranous, 3 mm long, 0.25 mm wide, twisted. The pollen is simple, large, single. Pistillate part is ≥ 15 cm long, cylindrical, dark brown. Fertile pistillate flower is ≥ 0.6 cm long. Style is long, ≥ 3 mm. Stigma broadly oblong-rhomboid, elongated at the top, is ≥ 2.5 mm long. The ovary is fusiform, 2.5 mm long. Degraded pistillate flowers (carpoidia) are ≥ 2 mm long, pale gray, clavate, shorter than gynophore hairs. The hair of the gynophore is numerous, reaching the middle of the column. Seeds are fusiform. Blossoms VIII–IX and bears fruit IX–X.

Type: Russia, Sakhalin Oblast, Korsakovsky District, along the Yuzhno-Sakhalinsk–Okhotskoy–Korsakov highway, ditch along the road, phytocenosis of *Typha* sp. (*T. sakhalinica*), soil, depth 0.1–0.5 m, 22.VIII.2019, A.N. Efremov, holotype, IBIW (рис. 2a).

It grows in in small ephemeral water bodies of disturbed habitats, on sandy substrates.

Probably the species is distributed in the southern regions of Sakhalin Island.

It differs from European *T. latifolia* in its small height, stem leaves with axils and filmy

auricles, downward directed, staminate flowers with narrow membranous anthers and large, soli-

tary pollen, degraded flowers in bunches of 3, with bracts.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По морфологическим признакам *T. sakhalinica* относится к родству *T. latifolia* s. l., сближается с *T. krasnovae* Doweld \equiv *T. sibirica* A. Krasnova. Возможно, что на территории Северо-Восточной Сибири и Сахалина *T. sakhalinica* замещает какой-то древний “правид” *T. latifolia*. В историко-геологическом прошлом, многие из родственных видов вымерли в результате смещения растительных зон и расчленения Курильской гряды [Герман, 2007

(German, 2007); Крестов и др., 2009 (Krestov et al., 2009); Попов, 1970 (Popov, 1970)]. В конце плиоцена – начале плейстоцена из “теплой” Северо-Восточной Азии по сахалинскому мосту суши мигрировали популяции *Typha*. Вероятно, среди них были “широколистные” *Typha*, которые отличались от материковых и островных (Япония, Хоккайдо), что могло бы свидетельствовать о ранней изоляции рода на территории Сахалина [Тахтаджян, 1978 (Takhtadjian, 1978)].



Рис. 1. Общий вид *Typha sakhalinica*: а – гербарный образец (голотип); б – общий вид растения.

Fig. 1. General view of *Typha sakhalinica*: а – herbarium specimen (holotype); б – general view of plant.

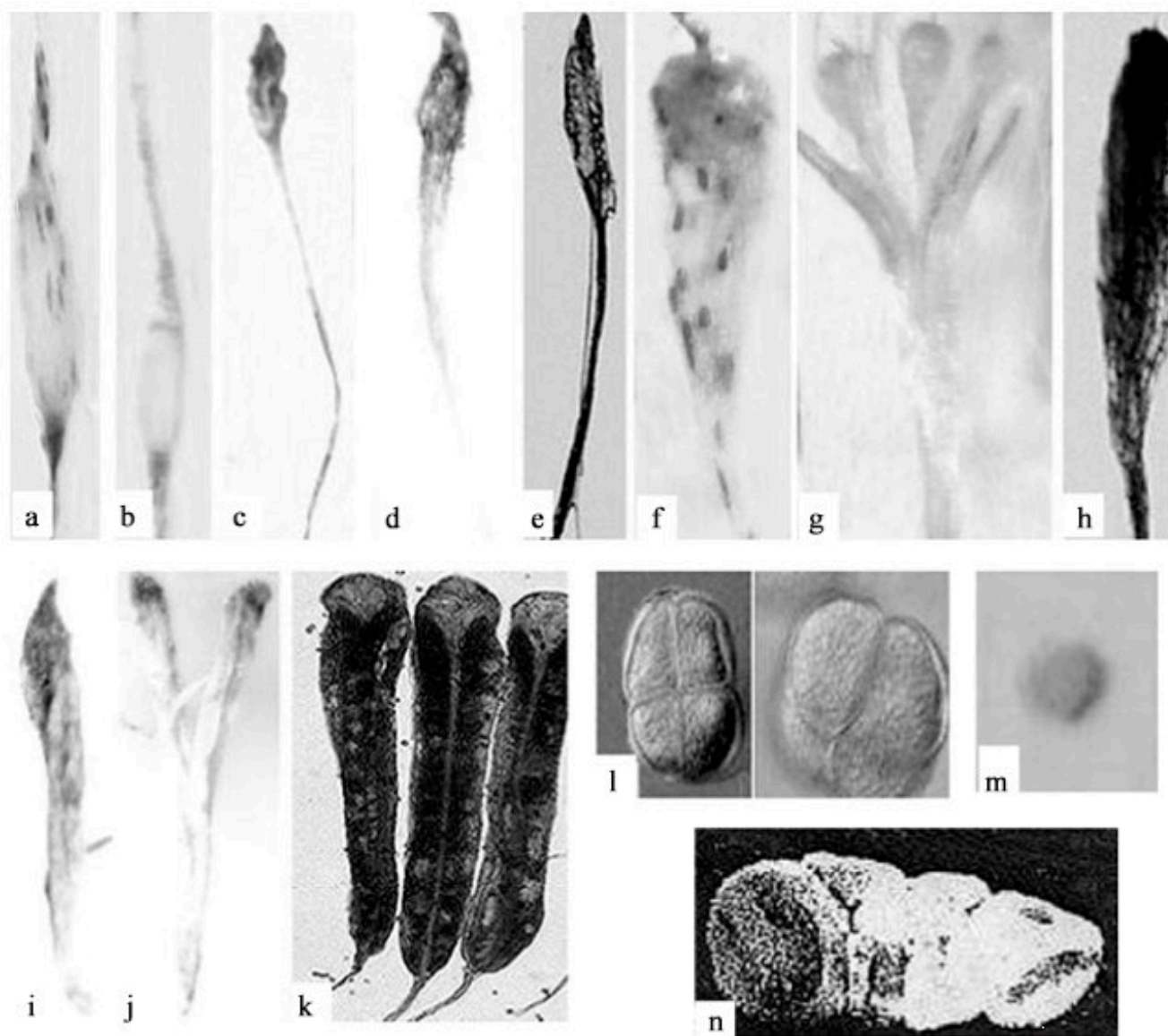


Рис. 2. Морфологические особенности *Typha sakhalinica* и близких видов: а – завязь с рафидами *T. sakhalinica*; б – плод в околоплоднике *T. sakhalinica*; в, д – рыльце *T. sakhalinica*; е – рыльце *T. latifolia*; ф – карподий *T. krasnovae*; г – пучки карподиев *T. sakhalinica*; ж – карподий *T. latifolia*; и, j – тычинки *T. sakhalinica*; к – тычинки *T. latifolia*; л – пыльца *T. latifolia*; м – пыльца *T. sakhalinica*; н – пыльца *T. krasnovae*.

Fig. 2. Morphological features of *Typha sakhalinica* A. Krasnova et Efremov and related species: а – ovary with raphids of *T. sakhalinica*; б – fruit in the pericarp of *T. sakhalinica*; в, д – stigma of *T. sakhalinica*; е – stigma of *T. latifolia*; ф – carpodium *T. krasnovae*; г – bundles of carpodia of *T. sakhalinica*; ж – carpodium *T. latifolia*; и, j – stamens of *T. sakhalinica*; к – stamens of *T. latifolia*; л – pollen of *T. latifolia*; м – pollen of *T. sakhalinica*; н – pollen of *T. krasnovae*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Островной характер Сахалина сложился в конце плейстоцена, когда обособились Хоккайдо, Курильские острова, а Охотское озеро стало морем и соединилось с Тихим океаном. В середине плейстоцена с таежной волной миграций могли проникнуть популяции *Typha* из Восточной Азии, среди которых были

близкородственные *T. latifolia* виды. Резкое охлаждение приморского климата на береговой в конце плейстоцена и смещения видов к югу, изоляция флора Сахалина способствовали автохтонному развитию многих популяций *Typha*.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания № АААА-А18-118012690095-4 при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – проект № 22-22-22222), тема № 0122-2015-0002 “Систематика, разнообразие и филогения водных автотрофных организмов России и других регионов мира”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баркалов В.Ю., Таран А.А. Список видов сосудистых растений острова Сахалин // Растительный и животный мир острова Сахалин: Матер. Межд. сахалинского проекта. Ч. 1. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 39–66.
- Воробьев Д.П., Ворошилов В.Н., Гурзенков Н. Н., Доронина Ю.А., Егорова Е.М., Нечаева Т.П., Пробатова Н.С. Определитель высших растений Сахалина и Курильских островов. Л.: Наука, 1974. 372 с.
- Герман А.Б. Палеоклиматические эффекты позднемиоценовых палеоценовых проливов по данным континентальной биоты // Пролиты Северного полушария в мелу и палеогене. М.: МГУ, 2007. С. 119–136.
- Ворошилов В.Н. *Typha* L. // Определитель растений советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. С. 36.
- Комаров В.Л. Род *Typha* L. // Флора Маньчжурии / Тр. Петербург. ботан. сада. СПб., 1901. Т. 1. С. 559.
- Краснова А.Н. К систематике рогоза широколистного (*Typha latifolia* L.) на территории СССР // Фауна и биология пресноводных организмов. Л.: Наука, 1987. С. 43–59.
- Краснова А.Н., Ефремов А.Н. Секция *Typha* рода *Typha* L. (Typhaceae): структура, таксономический состав и эволюция // Биология внутренних вод, 2020, № 1, С. 1–7. DOI: 10.1134/S0320965220010118
- Крестов П.В., Баркалов В.Ю., Омелько А.М., Якубов В.В., Накамура Ю., Сато К. Реликтовые комплексы растительности современных рефугиумов Северо-Восточной Азии // Комаровские чтения. Вып. 56. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 5–63.
- Победимова Е.Г. О новых видах рода *Typha* L. // Бот. матер. герб. БИН АН СССР. М., Л.: АН СССР, 1949. Т. 11. С. 3–17.
- Попов М.Г. Семейство Typhaceae // Флора Средней Сибири. Л., 1957. Т. 1. С. 48–49.
- Попов М.Г. Осоки Сахалина и Курильских островов. М.: Наука, 1970. 138 с.
- Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 247 с.
- Цвелев Н.Н. Typhoideae // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. СПб., 1996. Т. 8. С. 355–357.
- Doweld A.B. New names of *Typha* of Northern Eurasia (Typhaceae) // Acta Paleobotanica. 2017. Vol. 57(2). P. 233. <https://doi.org/10.1515/acpa-2017-0010>.
- Graebner P. Typhaceae ud Sparganiaceae // Das Pflanzenreich. Leipzig: In Engler A., 1900. Bd.2. IV, 8. 18 s.
- Kronfeld M. Monographie der Gattung *Typha* Tourn. / Verh. Zool. – bot. Gesellschaft. Wien, 1889. 192 p.

REFERENCES

- Barkalov V.Yu., Taran A.A. Spisok vidov sosudistyh rastenij ostrova Sahalin [List of vascular plant species of Sakhalin Island] // *Rastitel'nyj i zhivotnyj mir ostrova Sahalin: Mater. Mezhd. sahalinskogo proekta. Ch. 1.* Vladivostok, Dal'nauka, 2004, pp. 39–66. (In Russian)
- Vorob'ev D.P., Voroshilov V.N., Gurzenkov N. N., Doronina Yu.A., Egorova E.M., Nechaeva T.P., Probatova N.S. Opredelitel' vysshih rastenij Sahalina i Kuril'skih ostrovov [Key to higher plants of Sakhalin and the Kuril Islands]. L., Nauka, Leningr. otd., 1974. 372 p. (In Russian)
- German A.B. Paleoklimaticheskie efekty pozdnemelovyh paleocenovyh prolivov po dannym kontinental'noj bioty [Paleoclimatic Effects of the Late Cretaceous Paleocene Straits Based on Data from the Continental Biota]. *Prolivy Severnogo polushariya v melu i paleogene.* M., MGU, 2007, pp. 119–136. (In Russian)
- Voroshilov V.N. *Typha* L. Opredelitel' rastenij sovetskogo Dal'nego Vostoka [Guide to plants of the Soviet Far East]. M., Nauka, 1982, p. 36. (In Russian)
- Komarov V.L. Rod *Typha* L. Flora Man'chzhurii [Flora of Manchuria]. *Tr. Peterburg. botan. sada SPb.*, 1901, bd. 1, p. 559. (In Russian)
- Krasnova A.N. K sistematike rogoza shirokolistnogo (*Typha latifolia* L.) na territorii SSSR [To the taxonomy of cattail (*Typha latifolia* L.) on the territory of the USSR]. *Fauna i biologiya presnovodnyh organizmov.* L., Nauka, 1987, pp. 43–59. (In Russian)
- Krasnova A.N., A.N. Efremov. Section *Typha* of the genus *Typha* L. (Typhaceae): structure, taxonomic composition and evolution. *Inland Waters Biology*, 2020, no. 1, pp. 1–7. doi: 10.1134/S0320965220010118
- Krestov P.V., Barkalov V.Yu., Omel'ko A.M., Yakubov V.V., Nakamura Yu., Sato K. Reliktovye komplekсы rastitel'nosti sovremennyh refugiumov Severo-Vostochnoj Azii [Relic complexes of vegetation of modern refugia in Northeast Asia]. *Komarovskie chteniya.* Vyp. 56. Vladivostok, Dal'nauka, 2009, pp. 5–63. (In Russian)
- Pobedimova E.G. O novyh vidah roda *Typha* L. [On new species of the genus *Typha* L.]. *Bot. mater. gerb. BIN AN SSSR.* M., L., AN SSSR, 1949, bd. 11, pp. 3–17. (In Russian)
- Popov M.G. Semejstvo Typhaceae [Family Typhaceae]. *Flora Srednej Sibiri.* L., 1957, bd. 1, pp. 48–49. (In Russian)
- Popov M.G. Osoki Sahalina i Kuril'skih ostrovov [Sedges of Sakhalin and the Kuril Islands]. M., Nauka, 1970. 138 p. (In Russian)
- Tahtadzhyan A.L. Floristicheskie oblasti Zemli [Floristic regions of the Earth]. L., Nauka, 1978. 247 p. (In Russian)
- Tsvelev N.N. Typhoideae [Typhoideae]. *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka.* SPb., 1996, bd. 8, pp. 355–357. (In Russian)
- Doweld A.B. New names of *Typha* of Northern Eurasia (Typhaceae). *Acta Paleobotanica*, 2017, no. 57(2), p. 233. <https://doi.org/10.1515/acpa-2017-0010>.
- Graebner P. Typhaceae ud Sparganiaceae. *Das Pflanzenreich.* Leipzig, In Engler A., 1900, Bd. 2 (IV.8). 18 p.
- Kronfeld M. Monographie der Gattung *Typha* Tourn. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien.*, 1889. 192 p.

**A NEW SPECIES OF CAT'S-TAIL (*TYPHA* L., TYPHACEAE)
FROM SOUTH SAKHALIN**

A. N. Krasnova¹, A. N. Efremov²

¹ *Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
152742, Borok, Nekouzsky district, Yaroslavl Region, Russia e-mail: krasa@ibiw.yaroslavl.ru*

² *Research Center of Fundamental and Applied Problems of Bioecology
and Biotechnology of Ulyanovsk State Pedagogical University,
432000, Ulyanovsk, pl. Lenin, 4/5, Ulyanovsk Region, Russia, e-mail: stratiotes@yandex.ru*

The results of a comparative morphological analysis of *Typha sakhalinica* Krasnova et Efremov are presented. It was found that the morphological characters of the reproductive organs do not correspond to *T. latifolia* from the European part of Russia. The species is distinguished by staminate flowers with narrow membranous anthers, large and solitary pollen, degraded flowers in bunches of three. Plants are smaller, cauline leaves with axils and membranous auricles directed downwards. It is believed *T. sakhalinica* is a Pleistocene species that emerged from the isolation of Sakhalin Island from the mainland North-Eastern Asia.

Keywords: *Typha sakhalinica*, staminate flower, pollen, pistillate flower, degraded flower, comparative morphological analysis, Sakhalin

Научное издание

**Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
вып. 98(101), 2022 г.**

Рекомендуемый вариант цитирования статей:

... // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2022, Вып. 98(101). С. ...

Recommended option for citing articles:

... // Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, 2022. Is. 98(101). P. ...

Подписано в печать 30.06.2022. Формат 60×90 1/8.

Усл. печ. л. 8,5. Заказ № 22108. Тираж 150 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ООО “Филигрань”
150049, г. Ярославль, ул. Свободы, 91, pechataet@bk.ru