

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**



**ИБВВ РАН**



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

**ВЫПУСК 97(100)**

**2022**

**ЯНВАРЬ – МАРТ**

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 97(100)**

**2022**

**JANUARY – MARCH**

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. 97 (100) – 66 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. НПЦ 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

**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

## Гидрология и гидрохимия

*Ю. С. Даценко*

|   |   |
|---|---|
| О РАСЧЕТЕ РЕЖИМА ФОСФОРА ПРИ НАЧАЛЬНОМ ЗАПОЛНЕНИИ ВОДОХРАНИЛИЩА ..... | 7 |
|---|---|

## Водная токсикология

*А. А. Буркин, Г. П. Кононенко*

|   |    |
|---|----|
| ИЗМЕНЕНИЕ ПРОФИЛЯ МИКОТОКСИНОВ В БУРЫХ ВОДОРОСЛЯХ ИЗ ШТОРМОВЫХ ВЫБРОСОВ ..... | 13 |
|---|----|

## Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

*Е. В. Лобуничева, А. И. Литвин, Н. В. Думнич*

|   |    |
|---|----|
| СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ШЕКСНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ) ..... | 18 |
|---|----|

## Водные биоресурсы

*Г. В. Лукерина*

|   |    |
|---|----|
| РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЦИСТ ЖАБРОНОГО РАЧКА <i>ARTEMIA</i> В СОСТАВЕ ГРУНТОВ ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР КУЧУКСКОЕ И БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ ..... | 33 |
|---|----|

## Паразитология

*А. И. Савушкин, Н. А. Сидорова*

|   |    |
|---|----|
| ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИЙ ПСЕВДОМОНАДНОГО КОМПЛЕКСА, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОРГАНИЗМА <i>PARASALMO MYKISS</i> Walb., ПО ФАКТОРАМ ИНВАЗИЙНОСТИ ..... | 50 |
|---|----|

## Водные беспозвоночные

*А. С. Соколова, В. Р. Микряков, Д. В. Микряков, С. В. Кузьмичева*

|  |    |
|--|----|
| ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИВНОГО ВИДА <i>UNIONICOLA YPSILOPHORA</i> (BONZ, 1783) НА МОРФО- И ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛЛЮСКА <i>ANODONTA CYGNEA</i> (L.) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ..... | 58 |
|--|----|

# CONTENTS

## Hydrology and Hydrochemistry

*Y. S. Datsenko*

|   |   |
|---|---|
| ON THE CALCULATION OF THE PHOSPHORUS REGIME AT THE INITIAL FILLING OF THE RESERVOIR ..... | 7 |
|---|---|

## Aquatic Toxicology

*A. A. Burkin, G. P. Kononenko*

|  |    |
|--|----|
| CHANGING THE MYCOTOXIN PROFILE IN BROWN ALGAE FROM STORM EMISSIONS ..... | 13 |
|--|----|

## Zooplankton, Zoobenthos, Zooperiphyton

*E. V. Lobunicheva, A. I. Litvin, N. V. Dumnich*

|   |    |
|---|----|
| SEASONAL DYNAMICS OF ZOPLANKTON OF THE SHEKSNA RESERVOIR (VOLOGDA REGION) ..... | 18 |
|---|----|

## Aquatic Bioresources

*G. V. Lukerina*

|  |    |
|--|----|
| THE RESULTS OF STUDYING DIAPAUSING EGGS (CYSTS) OF BRINE SHRIMP <i>ARTEMIA</i> ON THE BOTTOM OF HYPERHALINE LAKES OF THE ALTAI TERRITORY ... | 33 |
|--|----|

## Parasitology

*A. I. Savushkin, N. A. Sidorova*

|   |    |
|---|----|
| PHENOTYPIC DIVERSITY OF BACTERIA OF THE <i>PSEUDOMONAS</i> COMPLEX, ISOLATED FROM <i>PARASALMO MYKISS</i> Walb., ACCORDING TO THE FACTORS OF INVASIVENESS ..... | 50 |
|---|----|

## Aquatic Invertebrates

*A. S. Sokolova, V. R. Mikryakov, D. V. Mikryakov, S. V. Kuzmicheva*

|  |    |
|--|----|
| INFLUENCE OF THE INVASIVE SPECIES OF <i>UNIONICOLA YPSILOPHORA</i> (BONZ, 1783) ON THE MORPHO AND IMMUNOPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF THE MOLLUSK <i>ANODONTA CYGNEA</i> (L.) OF THE RYBIN RESERVOIR ..... | 58 |
|--|----|

## О РАСЧЕТЕ РЕЖИМА ФОСФОРА ПРИ НАЧАЛЬНОМ ЗАПОЛНЕНИИ ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю. С. Даценко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991, Москва, Ленинские горы, 1, e-mail: yuri0548@mail.ru

Поступила в редакцию 28.12.2021

Представлены результаты расчетов изменений концентрации фосфора в водохранилище в период становления его экосистемы после начального заполнения речными водами. Расчеты основаны на балансовой модели фосфора в водоеме идеального перемешивания с использованием средних значений параметров, приводимых в литературе. Использована модификация баланса фосфора в виде, представленном Диллоном и Риглером. Выщелачивание фосфора из затопленных почв аппроксимируется экспоненциальной зависимостью. Представлен типовой ход изменения концентрации фосфора в водохранилище под влиянием затопленных почв. Установлены зависимости времени наступления максимума концентрации фосфора в водохранилище от интенсивности процесса выщелачивания и параметра балансового уравнения, учитывающего соотношение коэффициента водообмена и коэффициента фосфорного удержания. Показано, что время наступления максимума концентраций фосфора после затопления резко снижается с ростом интенсивности водообмена при небольших его значениях, но в дальнейшем роль этого фактора становится малозначимой.

*Ключевые слова:* водохранилища, режим фосфора, поток фосфора из донных отложений, коэффициент водообмена.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-7-12

### ВВЕДЕНИЕ

Одна из наиболее значительных особенностей процессов формирования качества воды водохранилищ по сравнению с озерами связана с наличием периода становления экосистемы в первые годы после заполнения ложа водохранилища. В этот период затопленные почвы и растительность представляют собой значимый внутренний источник биогенных элементов, поддерживающих высокий уровень продуктивности экосистемы. Резкая смена реофильных на лимнофильные виды водных организмов приводит к перестройке экосистемы, которая с течением времени стремится к равновесному устойчивому состоянию. В различных географических условиях и при разных режимах заполнения чаши водохранилища этот период может длиться от одного до десятка лет. Длительность периода стабилизации экосистемы определяется, главным образом, интенсивностью процесса выщелачивания биогенных веществ из затопленного ложа.

Для периода становления экосистемы водохранилища в первые годы его существования характерно образование и широкое распространение анаэробных зон в придонных слоях водоема даже при сравнительно слабой стратификации. Исследования показывают, что в этот период наблюдается особо высокая активность бактериальной микрофлоры. [Kimmel et al., 1988]. Интенсивное разложение как затопленной, так и продуцированной фи-

топланктоном органики быстро приводит к истощению запасов кислорода во всей толще, что приводит к заморам рыб и увеличению скорости выщелачивания химических соединений из затопленных почв. Интенсивность процессов выноса биогенов из затопленных почв в аэробных и анаэробных условиях существенно различается [Shui-Ping, 1997]. В анаэробных условиях выщелачивание происходит значительно интенсивнее и вспышки развития фитопланктона происходят чаще.

В районах тропической и субтропической зоны вследствие высоких температур воды анаэробные условия в затопленной чаше водохранилища наблюдаются постоянно, но период стабилизации более короткий, чем в водоемах умеренной зоны. Для различных компонентов экосистемы длительность периода стабилизации может существенно различаться. Первыми реагируют на изменение внешних условий организмы фитопланктона в силу быстрого оборота их биомассы. Организмы более высоких порядков (от “мирного” зоопланктона до хищных рыб) откликаются на изменения первичной продукции с задержкой во времени, продолжительность которой определяется их положением в трофической цепи. Детальные наблюдения за последствиями подъема уровня в олиготрофном оз. Саппоро (Япония) показали, что наблюдавшаяся перестройка фитопланктонного сообщества длилась один год, в то время как ста-

новление состава зоопланктона потребовало два года [Teru Ioriya, 1998].

Важное значение для периода становления экосистемы имеет и длительность процесса заполнения водохранилища. Если этот период затягивается на годы, то новые и новые затопляемые площади последовательно становятся источниками биогенных и органических веществ и в этом случае процесс влияния затопленных почв значительно растягивается.

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Экспериментальные исследования рассматриваемого процесса показывают, что интенсивность выщелачивания максимальна в первые годы, затем постепенно убывает. Теоретически это убывание может быть представлено экспонентой (например, для фосфора)  $P_t = B \cdot e^{-\alpha t}$ , где  $B, P_t$  – начальная интенсивность потока фосфора из затопленных почв и растительности (т/год) и поток  $P$  в момент времени  $t$ ,  $\alpha$  – коэффициент снижения интенсивности потока из почв.

Этот процесс можно учесть в классическом уравнении баланса фосфора в водоеме полного мгновенного перемешивания:

$$\frac{dP}{dt} = L + B \cdot e^{-\alpha t} - (K_s + K_v) \cdot P \quad (1)$$

$P$  – общее содержание фосфора в водоеме, т

$L$  – внешняя нагрузка на водоем, в т/год

$K_v$  – коэффициент водообмена, 1/год

$K_s$  – коэффициент седиментации фосфора, 1/год

Обозначим  $(K_s + K_v) = \varphi$  и, используя модификацию балансового уравнения, предложенную Диллоном Р. и Риглером Ф. [Dillon, Rigler, 1975], согласно которой

$$(K_s = \frac{K_v \cdot R}{1 - R}), \text{ где } R - \text{коэффициент}$$

удержания фосфора в водохранилище, получаем

$$\varphi = \frac{K_v}{1 - R}$$

Решение балансового уравнения (1) в этом случае имеет вид [Ostrofsky, Duthie, 1978]

$$P_t = \frac{L}{\varphi} (1 - e^{-\varphi t}) + \frac{B}{\varphi - \alpha} (e^{-\alpha t} - e^{-\varphi t}) + P_0 \cdot e^{-\varphi t}$$

Количественно оценить некоторые параметры процесса стабилизации экосистемы водохранилища после заполнения ложа в зависимости от характера регулирования водохранилищем речного стока можно путем расчетов по простым балансовым моделям биогенных веществ в водохранилище. В настоящей работе балансовая модель фосфора применена для оценки длительности процесса стабилизации экосистемы водохранилища в период его заполнения.

$P_0$  – начальное содержание фосфора в водохранилище, т.

Значения параметра  $\varphi$  для крупных водохранилищ России колеблются в значительных пределах. Так для водохранилищ ЕЧ России пределы колебаний коэффициента водообмена составляют от 1.0 (Цимлянское водохранилище) до 19.0 1/год (Саратовское водохранилище), а величина коэффициента удержания фосфатов от 0.05 до 0.6 [Даченко, 2007, (Datsenko, 2007)]. Соответственно параметр  $\varphi$  колеблется в пределах от 1.05 до 47.5. Существенно различается также величина внешней фосфорной нагрузки водохранилищ.

Коэффициенты выщелачивания могут быть получены путем лабораторных экспериментов. Примером таких исследований служат работы ряда лимнологов в Европе и Китае [Shui-Ping Chang, Ching-Gung Wen, 1996, Miner, 1974, Boers, 1988], в которых показано, что эти коэффициенты значительно варьируют в зависимости от типа почв, степени покрытости дна и характера затопленной растительности. В России при оценках влияния затопления на качество воды водохранилищ широко используются методики Института гидробиологии Украины [Майстренко, Денисова, 1972, (Maistrenko, Denisova, 1972)], которые позволяют рассчитывать поступление биогенных и органических веществ из затопленных растительности и почв, а также оценить влияния этих объектов на содержание кислорода в воде водохранилищ. Данные методики применялись при прогнозе качества воды Днепровских [Майстренко, Денисова, 1972 (Maistrenko, Denisova, 1972)], Вилуйского [Лабутина, 1985, (Labutina, 1985)] и Бурейского [Мордовин и др., 2006, (Mordovin et al., 2006)] водохранилищ.

Сложнее всего определить параметр экспоненциального изменения скорости выщелачивания биогенных веществ. В наших расчетах мы воспользовались оценкой величины  $\alpha$ , проведенной по результатам наблюдений за становлением гидрохимического режима в во-



дохранилище Смолвуд (США) в первые годы его существования, которая привела к значению 1.5 л/год [Ostrofsky, Duthie, 1978].

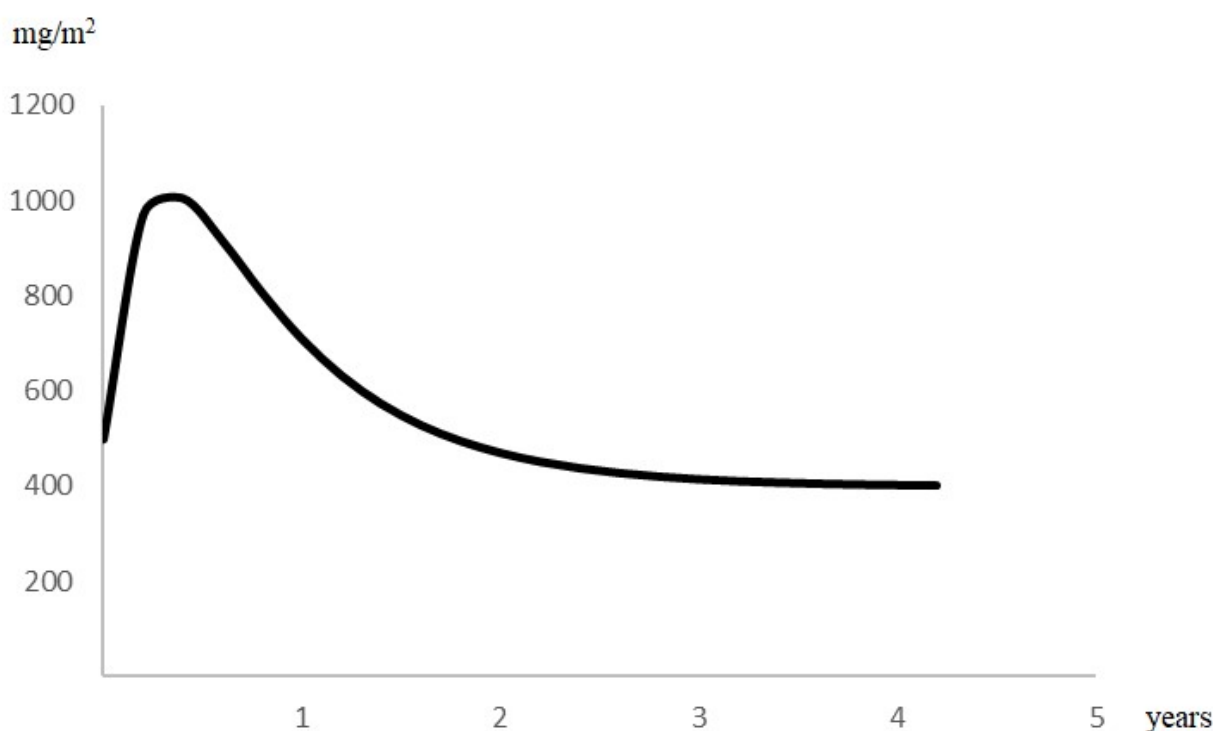
Для ориентировочных сценарных расчетов процесса становления гидрохимического режима рассматривался диапазон начальной интенсивности потока фосфора – 200–1000 мг/м<sup>2</sup>, которая соответствует средним

значениям эмпирических коэффициентов, используемых для расчета органических и биогенных веществ, поступающих в воду водохранилищ из затопленной растительности и почв в упомянутой методике [Майстренко, Денисова, 1972, (Maistrenko U.G., Denisova A.I., 1972)].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Если выразить параметры потоков фосфора из затопленных почв в единицах мг/м<sup>2</sup> год, а начальную концентрацию в мг/м<sup>2</sup> (содержание фосфора в столбе воды над 1 кв. м площади дна), то подставляя приведенные выше значения параметров  $\varphi$ ,  $\alpha$ ,  $B$ , среднее значение  $\varphi$  для

водохранилищ России, и принимая начальную концентрацию 500 мг/м<sup>2</sup> получаем следующий вид изменений концентраций фосфора с течением времени при становлении экосистемы водохранилища (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение концентраций фосфора в первые годы существования водохранилища.

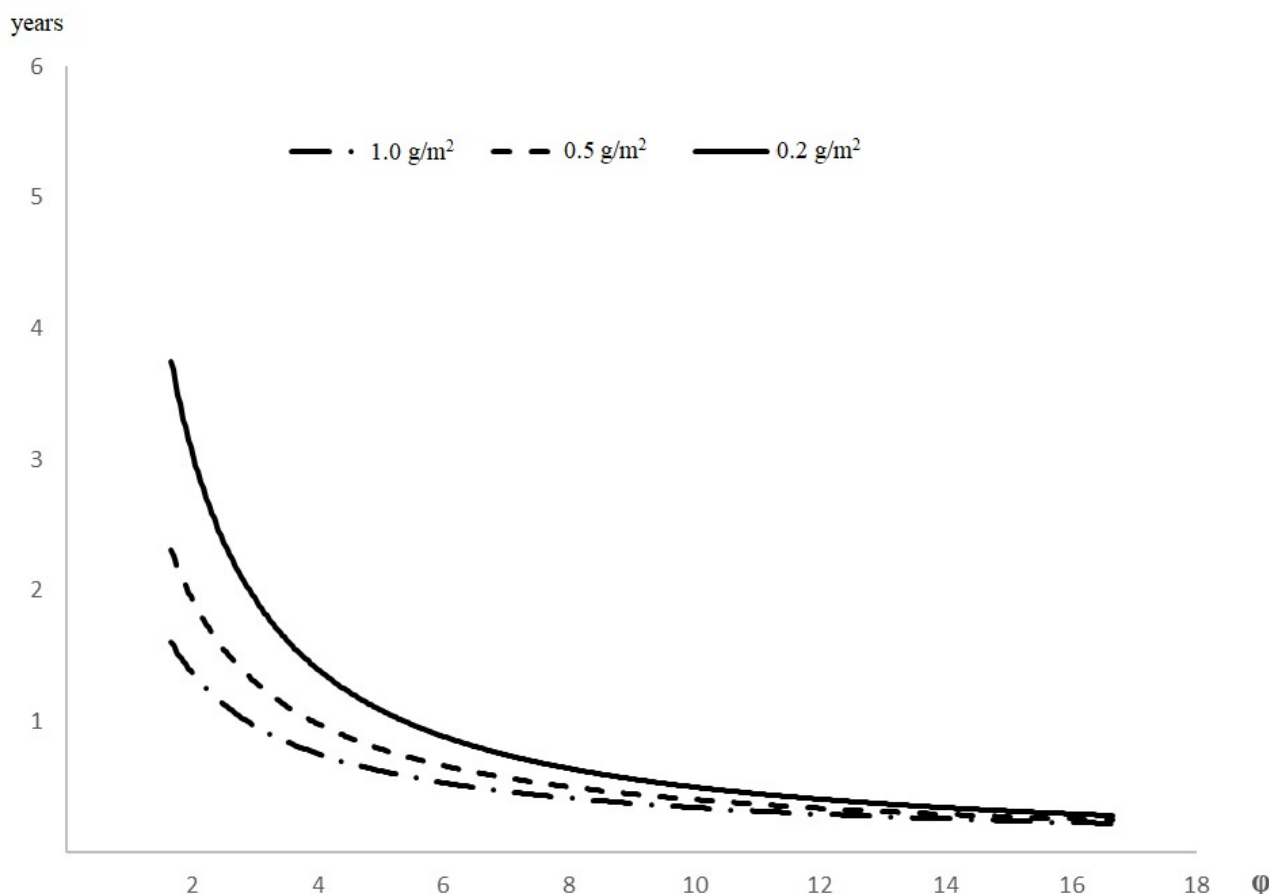
**Fig. 1.** Changes in phosphorus concentrations in the first years of the reservoir's existence.

Дифференцированием уравнения (1) можно определить время достижения максимума концентрации биогенных веществ при выщелачивании

$$t = \frac{1}{\varphi - \alpha} \ln \left[ \frac{(L - \varphi \cdot P_0)(\varphi - \alpha) + \varphi \cdot B}{B \cdot \alpha} \right] \quad (2)$$

В становлении экосистемы водохранилища выделяется максимум в изменении концентрации биогенного элемента, после которого наступает медленный спад влияния потоков из затопленных почв. Зависимости времени

наступления максимума существенно различается под влиянием различных факторов. Это время можно рассчитать по приведенному уравнению (2) в зависимости от рассматриваемых параметров, из которых к числу определяющих следует отнести интенсивность выщелачивания фосфора и сумму коэффициента водообмена водохранилища и коэффициента седиментации фосфора. Для принятых нами значений параметров такие зависимости времени наступления максимума от главных факторов процесса выщелачивания имеют вид, представленный на рис. 2.



**Рис. 2.** Изменение времени наступления максимума концентраций фосфора в водохранилище в зависимости от параметра  $\varphi$  (цифры у кривых значение начальной интенсивности потока фосфатов из почв).

**Fig 2.** The change in the time of occurrence of the maximum phosphorus concentrations in the reservoir, depending on the intensity of the phosphorus flow of the parameter  $\varphi$  (the figures in the curves the initial intensity of the phosphate outflow from the soil).

Расчеты показывают, что время наступления максимума резко снижается с ростом интенсивности водообмена. При коэффициенте  $\varphi$  равном 4.0 это время уменьшается до одного года, а при высоких значениях интенсивности водообмена в высокопроточных водохранилищах это время стремится к нулю, т.е.

влияние затопленных почв практически не проявляется. Начальная интенсивность потока фосфатов из почв имеет существенное значение только при низких значениях коэффициента водообмена и коэффициента седиментации. В дальнейшем роль этого фактора становится малозначимой.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ решения балансового уравнения показывает, что степень влияния затопленных почв на формирование запаса биогенных веществ в водохранилищах зависит от

- соотношения внутренней и внешней химической нагрузки и растет с ростом последней,

- чем выше коэффициент водообмена водохранилища, тем слабее проявляется влияние затопленных почв на экосистему водоема.

Таким образом, при наличии экспериментальных оценок параметров, характеризующих скорости процесса выщелачивания биогенных веществ в затопленном ложе проектирующегося водохранилища, можно получить номограммы для оценки ожидаемых изменений гидрохимического режима водохранилища под влиянием вторичного источника химических веществ в виде потока из затопленных почв.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Даченко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. М.: ГЕОС, 2007. 252 с.

Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима Днепра и методы его прогнозирования. Киев: Наукова думка, 1979. 292 с.

- Майстренко Ю.Г., Денисова А.И. К методике прогнозирования органических и биогенных веществ в существующих и прогнозируемых водоемах // *Гидрохимические материалы*, 1972. Т. 53. С. 86–115.
- Мордовин А.М., Петров Е.С., Шестеркин В.П. Гидроклиматология и гидрохимия Зейского водохранилища. Хабаровск. Дальнаука, 1997. 137 с.
- Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Гидрохимия Бурейского водохранилища в период заполнения (2005–2006 гг.) // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов*. Т. II. Пермь: ПГУ. 2007. С. 100–104.
- Boers P.C.M., Yese O.V. Phosphorus release from the peaty sediments of the Loosdreht Lakes (The Netherland). // *Wat. Res.* 1988. Vol. 22(3). P. 355–363.
- Dillon P.J., Rigler F.H. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status // *J. Fish. Res. Bd. Can.* 1975. Vol. 32. P. 1519–1531.
- Kimmel B.L., Soballe D.M., Adams S.M., Palumbo A.V., Ford C.J., Bevelhimer M.S. Inter-reservoir interactions: Effect of a new reservoir on organic matter production and processing in a multiple-impoundment series. // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 1988. Vol. 23. P. 985–994.
- Miner N.H. The potencial for impact of inundation of terrestrial vegetation on the water quality of Quabbin reservoir of Massachusetts // *Wat. Res. Bull.* 1974. Vol. 10(6). P. 1288–1297.
- Ostrofsky M.L., Duthie H.C. An approach to modelling productivity in reservoirs // *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 1978. Vol. 20. P. 1562–1567.
- Teru Ioriya, Satoshi Inoue, Masaru Haga, Noriaki Yogo. Change of chemical and biological water environment at a newly-constructed reservoir // *Wat.Sci.Tech.* 1998. Vol. 37. № 2. P. 187–194.

#### REFERENCES

- Boers P.C.M., Yese O.V. Phosphorus release from the peaty sediments of the Loosdreht Lakes (The Netherland). *Wat. Res.*, 1988, vol. 22(3), pp. 355–363.
- Datsenko Y.S. Evtrofirovaniye vodohranilisch. [Eutrophication of reservoirs]. M., GEOS, 2007. 252 p. (In Russian)
- Denisova A.I. Formirovaniye gidrokhimicheskogo rejima Dnepra I metody ego prognozirovaniya. [Formation of the hydrochemical regime of the Dnieper and methods of its forecasting]. Kyev, Naukova dumka. 1979. 292 p. (In Russian)
- Dillon P.J., Rigler F.H. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1975, vol. 32, pp. 1519–1531.
- Kimmel B.L., Soballe D.M., Adams S.M., Palumbo A.V., Ford C.J., Bevelhimer M.S. Inter-reservoir interactions: Effect of a new reservoir on organic matter production and processing in a multiple-impoundment series. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1988, vol. 23, pp. 985–994.
- Maistrenko U.G., Denisova A.I. K metodike prognozirovaniya organicheskikh I biogennykh veshchestv v sushesvuyuschih i proektiruemykh vodoiomah [On the methodology of forecasting organic and biogenic substances in existing and projected reservoirs]. *Gidrokhimicheskie materialy*, 1972, bd. 53, pp. 86–115. (In Russian)
- Miner N.H. The potencial for impact of inundation of terrestrial vegetation on the water quality of Quabbin reservoir of Massachusetts. *Wat. Res. Bull.*, 1974, vol. 10(6), pp. 1288–1297.
- Mordovin A.M., Petrov E.S. Shestiorokin V.P. Gidroklimatologiya I gidrokhimiya Zeiskogo vodohranilisha. [Hydroclimatology and hydrochemistry of the Zeya reservoir]. Habarovsk, Dalnauka, 1997, 137 p. (In Russian)
- Ostrofsky M.L., Duthie H.C. An approach to modelling productivity in reservoirs. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 1978, vol. 20, pp. 1562–1567.
- Shestiorkin V.P., Shestiorkina N.M. Gidrokhimiya Bureiskogo vodohranilisha v period ego zapolneniya (2005–2006g.). [Hydrochemistry of the Bureysky reservoir during the filling period (2005–2006)]. *Sovremennye problem vodohranilisch i ih vodosborov*. T. II. Perm, PGU. 2007, pp. 100–104. (In Russian)
- Teru Ioriya, Satoshi Inoue, Masaru Haga, Noriaki Yogo. Change of chemical and biological water environment at a newly-constructed reservoir. *Wat.Sci.Tech.*, 1998, vol. 37, no. 2, pp. 187–194

## ON THE CALCULATION OF THE PHOSPHORUS REGIME AT THE INITIAL FILLING OF THE RESERVOIR

Y. S. Datsenko

Moscow Lomonosov State University,  
119991, Moscow, Leninskie Gory, 1., e-mail: yuri0548@mail.ru

Revised 28.12.2021

The results of the calculations in changes of the phosphorus concentration in the reservoir during the formation of its ecosystem after the initial filling by river waters are presented. During this period, flooded soils and vegetation represent a significant internal source of nutrients that maintain a high level of ecosystem productivity. Calculations are based on the balance model of phosphorus in a completely mixed water body using the average values of the parameters given in the literature. A modification of the phosphorus balance as presented by Dillon and Rigler was used. Phosphorus leaching from flooded soils is approximated by an exponential relationship. Graphically illustrated is a typical course of change in the phosphorus concentration in the reservoir under the influence of flooded soils, which is a relatively rapid increase in concentrations followed by a gradual decrease. The most important parameter of this process is the time of the onset of the maximum concentration. By calculations have obtained dependences of the time of onset of the maximum phosphorus concentration in the reservoir on the intensity of the leaching process

and the parameter of the balance equation. This parameter is the ratio of the water exchange coefficient and the phosphorus retention coefficient. It is shown that the time for the onset of the maximum phosphorus concentrations after flooding decreases sharply with an increase in the intensity of water exchange at its small values, but later the role of this factor becomes insignificant.

*Keywords:* reservoir, phosphorus regime, phosphorus flow from flooded soils, water exchange coefficient

УДК 582.272:632.4.01/08:57.022:543.9

## ИЗМЕНЕНИЕ ПРОФИЛЯ МИКОТОКСИНОВ В БУРЫХ ВОДОРОСЛЯХ ИЗ ШТОРМОВЫХ ВЫБРОСОВ

А. А. Буркин, Г. П. Кононенко

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ “Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко”,  
123022 г. Москва, Звенигородское шоссе, д. 5, e-mail: kononenkogrp@mail.ru

Поступила в редакцию 18.01.2022

Методом непрямого конкурентного иммуноферментного анализа в бурых водорослях *Fucus vesiculosus* Linnaeus, *Fucus serratus* Linnaeus, *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis и *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, отобранных с естественного субстрата и из штормовых выбросов в одном из экотопов Кандалакшского залива Белого моря, проведена сравнительная оценка содержания низкомолекулярных метаболитов, свойственных микромицетам родов *Fusarium* Link, *Alternaria* Nees, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Myrothecium* Tode, *Cladosporium* Link и ряду других. В живых талломах *F. vesiculosus*, *F. serratus*, *A. nodosum* были детектированы все анализируемые вещества – Т-2 токсин, диацетоксисцирпенол, дезоксиниваленол, зеараленон, фумонизины, альтернариол, охратоксин А, цитринин, PR-токсин, микофеноловая кислота, афлатоксин В<sub>1</sub>, стеригматоцистин, циклопиазоновая кислота, эмодин, роридин А и эргоалкалоиды. В образцах из выбросов профиль микотоксинов претерпел значительные изменения. У *F. vesiculosus* и *F. serratus* резко и единообразно уменьшилось их содержание и, как следствие, понизилась частота выявления – до 8% и 15%. У *A. nodosum* обнаружены только альтернариол, афлатоксин В<sub>1</sub> и микофеноловая кислота и лишь в 17% образцов вблизи пределов определения метода, а остальные компоненты комплекса найти не удалось. В живых талломах *S. latissima* анализируемые микотоксины отсутствовали, а из выбросов часть образцов имела слабую контаминацию микофеноловой кислотой и эмодином.

**Ключевые слова:** макроводоросли, *Fucus*, *Ascophyllum*, *Saccharina*, штормовые выбросы, микотоксины, иммуноферментный анализ.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-13-17

### ВВЕДЕНИЕ

Водоросли прибрежных зон Белого моря, являясь важной частью экосистем севера европейской России, участвуют в круговороте питательных веществ, структурировании среды обитания и активно вовлечены в ответные реакции на биогенные и антропогенные воздействия [Возжинская, 1971 (Vozzhinskaya, 1971); Максимова, Мюге, 2007 (Maksimova, Myuge, 2007); Андреев, Плакотская, 2019 (Andreev, Plakhotskaya, 2019)]. В Кандалакшском заливе для эдификаторов сообществ приливно-отливной зоны и сублиторали – фукусовых и ламинариевых водорослей – за последние десятилетия подробно изучены ассоциации с микроскопическими грибами, установлено многообразие состава микобиоты и ее подверженность влиянию условий обитания [Бубнова, Киреев, 2009 (Bubnova, Kireev, 2009); Коновалова, Бубнова, 2011 (Konvalova, Bubnova, 2011); Коновалова, Бубнова, Сидорова, 2012 (Konvalova, Bubnova, Sidorova, 2012)]. Недавно в живых талломах бурых водорослей найдены метаболиты, свойственные токсигенным

микромицетам родов *Fusarium* Link, *Alternaria* Nees, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Myrothecium* Tode, *Cladosporium* Link и других [Буркин и др., 2020 (Burkin et al., 2020), Burkin et al., 2021]. На пологих участках береговой линии этого залива наблюдается массовое скопление остатков этих морских организмов, вынесенных приливными и ветровыми волнами и образующих плотные валы разной протяженности. В такой постоянно пополняемой смеси из разновозрастных особей и их фрагментов, которая круглогодично находится под воздействием резких переменчивых климатических условий и постоянного увлажнения заплесками соленой воды, следует ожидать сложный каскад метаболических процессов, однако этот биотоп до сих пор мало востребован как объект научных исследований. В данной работе проведена сравнительная оценка содержания микотоксинов у четырех видов бурых водорослей, отобранных с естественного субстрата и из штормовых выбросов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе были использованы бурые водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, *F. serratus* Linnaeus, *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis и *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders, взятые в одном экотопе пролива Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря (66°31' N 33°11' E) в период с 22 по 24 августа 2020 г. Живые особи собирали в естественной среде обитания при отливе, талломы из валков штормовых выбросов, не имеющие поврежденной структуры и внешних признаков гниения, отбирали у верхней границы литорали. После высушивания образцы измельчали в лабораторной мельнице, для экстракции применяли смесь ацетонитрила и воды в объемном соотношении 84:16 при расходе 10 мл на 1 г навески. Экстракты после десятикратного разбавления буферным раствором анализировали с по-

мощью аттестованных коммерческих и исследовательских иммуноферментных тест-систем (Россия). Нижний предел количественных измерений в условиях непрямого конкурентного иммуноферментного анализа соответствовал 85%-ному уровню связывания антител. Данные обсчитывали в программе Microsoft Office Excel и представляли в виде средних арифметических значений. Среди определяемых микотоксинов были Т-2 токсин (Т-2), диацетоксисцирпенол (ДАС), дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), альтернариол (АОЛ), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), стеригматоцистин (СТЕ), афлатоксин В<sub>1</sub> (АВ<sub>1</sub>), циклопиазоновая кислота (ЦПК), микофеноловая кислота (МФК), эргоалкалоиды (ЭА), эмодин (ЭМО), PR-токсин (PR) и роридин А (РОА).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные по живым талломам у всех исследованных видов полностью соответствовали полученным ранее [Burkin et al., 2021]. Так, у *F. vesiculosus*, *F. serratus* и *Ascophyllum nodosum* регулярно обнаруживались все анализируемые микотоксины, тогда как у *Saccharina latissima* они отсутствовали (см. таблицу).

В образцах из выбросов, профиль микотоксинов претерпел значительные изменения. У трех видов фукусовых резко и единообразно понизились их содержание и частота выявления – у *F. vesiculosus* и *F. serratus* до 8% и 15%. Для *A. nodosum* по 13 показателям был получен отрицательный результат, а АОЛ, АВ<sub>1</sub> и ЭА удалось обнаружить частично у пределов определения метода. У *S. latissima* при сохранении общего “нулевого фона” часть образцов была контаминирована небольшими количествами МФК и ЭМО.

Выявленное смещение профиля микотоксинов при длительном пребывании водорослей вне условий типичного обитания является новым научным феноменом. Эффект уменьшения контаминации фукусовых водорослей может быть результатом их вторичного заселения бактериями и грибами, способными разрушать эндогенный комплекс микотоксинов и накапливать продукты своего метаболизма, или следствием глубокой внутренней перестройки биохимической системы организма, сопровождающей его стрессовое отчуждение, а также возникать от сочетания таких процессов. Появление в части образцов *S. latissima*, взятых из выбросов, МФК и метаболита из группы антрахинонов ЭМО может быть связано с их инфицированием аэрофильными продуцентами, среди которых

известны представители многих родов, в частности, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Trichoderma* и *Phoma* [Burkin, Kononenko, 2010; Christiansen et al., 2021]. За последние десятилетия на этом участке Белого моря в донных и литоральных грунтах и живых талломах водорослей-макрофитов обнаружено более 300 видов грибов и грибоподобных организмов и недавно в перезимовавших остатках галофитов, отобранных в зоне выбросов, выявлено 18 разных морфотипов грибов и в их числе – новые виды [Bubnova et al., 2014; Bubnova, 2016]. Дальнейшее изучение сообществ микроорганизмов, активно влияющих на метаболический статус морских организмов, представляет значительный интерес для понимания общих механизмов ответных реакций на воздействие биотических и абиотических факторов.

Пониженное содержание микотоксинов в фукусовых водорослях из штормовых выбросов, несомненно, заслуживает внимания и с практической точки зрения, поскольку открывает путь к поиску микроорганизмов, способных эффективно трансформировать эти вещества и перспективных в кормопроизводстве для снижения рисков интоксикаций животных. Подобная активность уже известна для бактерий и грибов, а также для ферментов, выделенных из микробных систем [Nathout, Aly, 2014; Ji et al., 2016]. Кроме того, выбросы с открытых прибойных берегов традиционно используются местным населением для удобрения сельскохозяйственных угодий, и факт снижения их контаминации в естественных условиях следует расценивать как положительный.

Встречаемость микотоксинов (частота, % / средний уровень, нг/г) в талломах живых водорослей ( $n_1$ ) и отобранных из штормовых выбросов ( $n_2$ )

Occurrence of mycotoxins (incidence, % / average level, ng/g) in thalli of living algae ( $n_1$ ) and selected from storm emissions ( $n_2$ )

| Токсин<br>Toxin                    | <i>Fucus vesiculosus</i><br>$n_1=7$ $n_2=12$ |        | <i>Fucus serratus</i><br>$n_1=7$ $n_2=13$ |         | <i>Ascophyllum nodosum</i><br>$n_1=7$ $n_2=12$ |       | <i>Saccharina latissima</i><br>$n_1=5$ $n_2=15$ |       |
|------------------------------------|--|--------|---|---------|--|-------|---|-------|
| T-2                                | 100/345                                      | 33/9   | 100/620                                   | 54/28   | 100/150  | —     | —   | —     |
| ДАС<br>DAS                         | 100/25400                                    | 33/535 | 100/31200                                 | 46/2500 | 100/18700                                      | —     | —   | —     |
| ДОН<br>DON                         | 100/5330                                     | 8/83   | 100/6740                                  | 15/570  | 100/3550                                       | —     | —   | —     |
| ЗЕН<br>ZEN                         | 100/955                                      | 17/19  | 100/1490                                  | 46/49   | 100/420  | —     | —   | —     |
| ФУМ<br>FUM                         | 100/3730                                     | 50/91  | 100/6290                                  | 38/345  | 100/2140                                       | —     | —   | —     |
| АОЛ<br>AOL                         | 100/2890                                     | 83/51  | 100/7080                                  | 100/74  | 100/2320                                       | 17/14 | —   | —     |
| ОА<br>OA                           | 100/270                                      | 58/12  | 100/480                                   | 69/16   | 100/195  | —     | —   | —     |
| ЦИТ<br>CIT                         | 100/1960                                     | 33/38  | 100/2790                                  | 38/79   | 100/1780                                       | —     | —   | —     |
| СТЕ<br>STC                         | 100/1410                                     | 33/28  | 100/2500                                  | 46/62   | 100/835  | —     | —   | —     |
| АВ <sub>1</sub><br>AB <sub>1</sub> | 100/195                                      | 83/3   | 100/215                                   | 85/5    | 100/175  | 17/2  | —   | —     |
| ЦПК<br>CPA                         | 100/4220                                     | 25/47  | 100/6120                                  | 23/80   | 100/2120                                       | —     | —   | —     |
| МФК<br>MPA                         | 100/5610                                     | 67/53  | 100/9660                                  | 85/110  | 100/3760                                       | 17/88 | —   | 40/66 |
| ЭА<br>EA                           | 100/3580                                     | 75/9   | 100/4600                                  | 77/46   | 100/1590                                       | —     | —   | —     |
| ЭМО<br>EMO                         | 100/1820                                     | 75/24  | 100/2800                                  | 69/59   | 100/1590                                       | —     | —   | 60/25 |
| РР<br>PR                           | 100/24000                                    | 75/990 | 100/27400                                 | 31/2990 | 100/19400                                      | —     | —   | —     |
| РОА<br>ROA                         | 100/1370                                     | 25/39  | 100/2550                                  | 23/49   | 100/405  | —     | —   | —     |

**Примечание.** “—” — микотоксин не обнаружен.

**Note.** “—” — mycotoxin was not detected.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для бурых водорослей *Ascophyllum nodosum* и двух видов рода *Fucus* (*F. vesiculosus*, *F. serratus*) из Белого моря подтверждено присутствие в талломах многокомпонентных комплексов низкомолекулярных метаболитов из группы микотоксинов и обнаружено резкое снижение их содержания при нахождении в штормовых выбросах. У ламинариевой водоросли *S. latissima*, в живых особях которой микотоксины отсутствуют, в условиях продолжительного отчуждения от субстрата выявлена

слабая контаминация двумя грибными метаболитами — микофеноловой кислотой и эмодином. Оба факта установлены впервые, важны как с научной, так и с практической стороны, и, несомненно, представляют интерес для расширения формата обследований, включающего все многообразие макрофитов, типичных для данной экосистемы, а также распространения на другие ареалы обитания этих морских организмов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бубнова Е.Н., Киреев Я.В. Сообщества грибов на талломах бурых водорослей рода *Fucus* в Кандалакшском заливе Белого моря // Микология и фитопатология. 2009. Т. 43. Вып. 5. С. 388–397.
- Буркин А.А., Кононенко Г.П., Георгиев А.А., Георгиева М.Л. Особенности накопления микотоксинов в макрофитах Белого моря // Современная микология в России. 2020. Т. 8. С. 100–102.

- Возжинская В.Б. Беломорские фукоиды, их распределение, биология развития, продукция // Основы биологической продуктивности океана и ее использование. М.: Издательство “Наука”, 1971. С. 172–182.
- Коновалова О.П., Бубнова Е.Н. Грибы на бурых водорослях *Ascophyllum nodosum* и *Pelvetia canaliculata* в Канда-  
лакшском заливе Белого моря // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. Вып. 3. С. 240–248.
- Коновалова О.П., Бубнова Е.Н., Сидорова И.И. Биология *Stigmatidium ascophylli* – гриба-симбионта фукусовых  
водорослей в Кандалакшском заливе Белого моря // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. Вып. 6.  
С. 353–360.
- Максимова О.В., Мюге Н.С. Новые для Белого моря формы фукоидов (Fucales, Phaeophyceae): морфология,  
экология, происхождение // Ботанический журнал. 2007. Т. 92, № 7. С. 965–986.
- Andreev V.P., Plakhotskaya Z.V. Comparative analysis of copper and cadmium accumulation by macrophytes of the  
Chupa inlet, Kandalaksha Bay, White Sea // Inland Water Biology. 2019. Vol. 12. № 1. P. 124–127.  
DOI: 10.1134/S1995082919010024
- Bubnova E.N., Konovalova O.P., Grum-Grzhimaylo O.A., Marfenina O.E. Fifty years of mycological studies at the  
White Sea Biological Station of Moscow State University: Challenges, results, and outlook // Moscow University  
Biological Sciences Bulletin. 2014. Vol. 69. № 1. P. 23–39. DOI: 10.3103/S009639254010039
- Bubnova E.N. Two marine fungi new for the White Sea // Moscow University Biological Sciences Bulletin. 2016.  
Vol. 71. № 4. P. 218–221. DOI: 10.3103/S0096392516040039
- Burkin A.A., Kononenko G.P. Producers of mycophenolic acid in ensiled and grain feeds // Applied Biochemistry and  
Microbiology. 2010. Vol. 46. № 5. P. 545–550. DOI: 10.1134/S0003683810050145
- Burkin A.A., Kononenko G.P., Georgiev A.A., Georgieva M.L. Toxic metabolites of micromycetes in brown algae of  
the families Fucaceae and Laminariaceae from the White Sea // Russ. J. Mar. Biol. 2021. Vol. 47. № 1. P. 35–38.  
DOI: 10.1134/S1063074021010028
- Christiansen J.V., Isbrandt T., Petersen C., Sondergaard T.E., Nielsen M.R., Pedersen T.B., Sørensen J.L., Larsen T.O.,  
Frisvad J.C. Fungal quinones: diversity, producers, and application of quinones from *Aspergillus*, *Penicillium*, *Tala-  
romyces*, *Fusarium*, and *Arthrimum* // Applied Microbiology and Biotechnology. 2021. Vol. 105. P. 8157–8193.  
DOI: 10.1007/s00253-021-11597-0
- Hathout A. S., Aly S.E. Biological detoxification of mycotoxins: A review // Annals of Microbiology. 2014. Vol. 64.  
№ 3. P. 905–919. DOI: 10.1007/s13213-014-0899-7
- Ji C., Fan Y., Zhao L. Review on biological degradation of mycotoxins // Animal Nutrition, 2016. № 2. P. 127–133.  
DOI: 10.1016/j.aninu.2016.07.003

## REFERENCES

- Andreev V.P., Plakhotskaya Z.V. Comparative analysis of copper and cadmium accumulation by macrophytes of the Chu-  
pa inlet, Kandalaksha Bay, White Sea. *Inland Water Biology*, 2019, vol. 12, no. 1, pp. 124–127.  
doi: 10.1134/S1995082919010024
- Bubnova E.N., Kireev J.V. Fungal communities associated with brown seaweeds *Fucus* in the Kandalaksha Bay (White  
Sea, NW Russia). *Mikol. Fitopatol.*, 2009, vol. 43, no. 5, pp. 388–397. (In Russian)
- Bubnova E.N., Konovalova O.P., Grum-Grzhimaylo O.A., Marfenina O.E. Fifty years of mycological studies at the White  
Sea Biological Station of Moscow State University: Challenges, results, and outlook. *Moscow University Biological  
Sciences Bulletin*, 2014, vol. 69, no. 1, pp. 23–39. doi: 10.3103/S009639254010039
- Bubnova E.N. Two marine fungi new for the White Sea. *Mosc. Univ. Biol. Sci. Bull.*, 2016, vol. 71, no. 4, pp. 218–221.  
doi: 10.3103/S0096392516040039
- Burkin A.A., Kononenko G.P. Producers of mycophenolic acid in ensiled and grain feeds. *Appl. Biochem. Microbiol.*,  
2010, vol. 46. No. 5. pp. 545–550. doi: 10.1134/S0003683810050145
- Burkin A.A., Kononenko G.P., Georgiev A.A., Georgieva M.L. Osobennosti nakopleniya mikotoksinov v makrofitaх Belo-  
go moray. *Sovremennaya mikologiya v Rossii*, 2020, vol. 8. pp. 100–102. (In Russian)
- Burkin A.A., Kononenko G.P., Georgiev A.A., Georgieva M.L. Toxic metabolites of micromycetes in brown algae of the  
families Fucaceae and Laminariaceae from the White Sea. *Russ. J. Mar. Biol.*, 2021, vol. 47, no. 1, pp. 35–38.  
doi: 10.1134/S1063074021010028
- Christiansen J.V., Isbrandt T., Petersen C., Sondergaard T.E., Nielsen M.R., Pedersen T.B., Sørensen J.L., Larsen T.O., Frisvad  
J.C. Fungal quinones: diversity, producers, and application of quinones from *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces*, *Fusa-  
rium*, and *Arthrimum*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2021, vol. 105. pp. 8157–8193. doi: 10.1007/s00253-021-11597-0
- Hathout A. S., Aly S.E. Biological detoxification of mycotoxins: A review. *Ann. Microbiol.*, 2014, vol. 64, no. 3, pp. 905–  
919. doi: 10.1007/s13213-014-0899-7
- Konovalova O.P., Bubnova E.N. Fungi on brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Pelvetia canaliculata* in the Kanda-  
laksha Bay of White Sea. *Mikol. Fitopatol.*, 2011, vol. 45, no. 3, pp. 240–248. (In Russian)
- Konovalova O.P., Bubnova E.N., Sidorova I.I. Biology of *Stigmatidium ascophylli* – fungal symbiont of fucoids in Kanda-  
laksha Bay, White Sea. *Mikol. Fitopatol.*, 2012, vol. 46, no. 6, pp. 353–360. (In Russian)
- Maksimova O.V., Myuge N.S. Novye dlya Belogo morya formy fukoidov (Fucales, Phaeophyceae): morfologiya, ekolo-  
giya, proiskhozhdenie. *Botanicheskij zhurnal*, 2007, vol. 92, no. 7, pp. 965–986. (In Russian)
- Vozzhinskaya V.B. Osnovy biologicheskoy produktivnosti okeana i ee ispol'zovanie. *Belomorskie fukoidy, ih raspredelenie,  
biologiya razvitiya, produkciya* [White Sea fucoids, their distribution, developmental biology, products]. Moscow,  
Nauka, 1971, pp. 172–182. (In Russian)



## CHANGING THE MYCOTOXIN PROFILE IN BROWN ALGAE FROM STORM EMISSIONS

A. A. Burkin, G. P. Kononenko

All-Russia Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene, and Ecology,  
Skryabin and Kovalenko Federal Scientific

Center All-Russia Research Institute of Experimental Veterinary Medicine,  
123022 Moscow, Russia, e-mail: kononenkogp@mail.ru

Revised 18.01.2022

Brown algae *Fucus vesiculosus* Linnaeus, *Fucus serratus* Linnaeus, *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis and *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders collected from natural substrates and from storm emissions in one of the ecotopes of the Kandalaksha Bay of the White Sea (66°31' N 33°11' E) were used for comparative assessment of the content of low-molecular metabolites of micro-mycetes belonging to the genera *Fusarium* Link, *Alternaria* Nees, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Myrothecium* Tode, *Cladosporium* Link and others. After drying, the samples were crushed in a laboratory mill, a mixture of acetonitrile and water was used for extraction in a volume ratio of 84:16 with a consumption rate 10 mL per 1 g specimen. Extracts after 10-fold dilution with the buffer solution were analyzed using a set of certified enzyme-linked immunosorbent assay systems (Russia). The lower limit of quantitative measurements corresponded to an 85% level of antibody binding. All analyzed compounds – T-2 toxin, diacetoxiscirpenol, deoxynivalenol, zearalenone, fumonisins, alternariol, ochratoxin A, citrinin, PR-toxin, mycophenolic acid, aflatoxin B<sub>1</sub>, sterigmatocystin, cyclopiazonic acid, emodin, roridin A and ergot alkaloids – were found in the fresh thalli of *F. vesiculosus*, *F. serratus*, and *A. nodosum*. In the samples from the emissions, the profile of mycotoxins has been significantly changed. In *F. vesiculosus* and *F. serratus* the content of mycotoxins decreased sharply and uniformly and, as a result, the incidence of detection reduced to 8% and 15%. In *A. nodosum*, alternariol, aflatoxin B<sub>1</sub> and mycophenolic acid were revealed in 17% of samples near the limits of determination of methods, and the other components of the complex could not be found. The mycotoxins were absent in the fresh thalli of *S. latissima*, and only some of the samples from the emissions had weak contamination with mycophenolic acid and emodin.

**Keywords:** macroalgae, *Fucus*, *Ascophyllum*, *Saccharina*, storm emissions, mycotoxins, ELISA

## Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

УДК 574.583

### СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА ШЕКСНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е. В. Лобуничева, А. И. Литвин, Н. В. Думнич

Вологодский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения  
“Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии”  
160012 г. Вологда, ул. Левичева, д. 5, e-mail: lobunicheva\_ekaterina@mail.ru

Поступила в редакцию 22.01.2022

Проанализирована сезонная динамика состава, структуры и обилия зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг. В составе зоопланктона водохранилища зарегистрировано 107 видов (Rotifera – 41, Cladocera – 41, Copepoda – 25). В оз. Белое обнаружено 88, в речной части водохранилища – 90 видов. 7 видов обнаружено впервые для озера и 17 для речной части водохранилища. Сообщества разных участков водохранилища сходны по составу зоопланктона (76%). Наиболее разнообразен зоопланктон летом, когда в единичной пробе регистрируется 12–18 видов, а общее число видов составляет 63 в озерной части и 79 – в речной. Наибольший уровень доминирования (0.32–0.38) характерен для зоопланктона в подледный период. В оз. Белое этот показатель выше, чем в речной части водохранилища. Небольшой набор видов (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Eudiaptomus gracilis*) характеризуется высокой плотностью во все сезоны года. Часть видов являются доминантами лишь в отдельные периоды. Летом на всей акватории водохранилища доминируют коловратки рода *Polyarthra* и *Mesocyclops leuckarti*. В отдельные годы в конце лета высокую численность формирует *Conochilus unicornis*. В оз. Белое летом доминируют *Daphnia galeata* и *Chydorus sphaericus*. Состав доминантного комплекса зоопланктона разных участков водохранилища в отдельные сезоны года сходен. Лишь в мае структура доминирующего комплекса озерного и речного участков водохранилища различается. Соотношение доминантов в оз. Белое в мае сходно с подледным периодом. Максимальное обилие зоопланктона в водохранилище регистрируется в летний период. Наибольшая численность с мая по ноябрь характерна для копепоидов. В марте доминируют коловратки. Кладоцеры отмечены в составе доминантов лишь в озерной части водохранилища. Сезонная динамика структуры и обилия зоопланктона в целом соответствовала таковой в 1970-х и начале 2000-х гг.

**Ключевые слова:** зоопланктон, сезонная динамика, Шекснинское водохранилище, сезоны, состав, структура, доминанты, численность, биомасса.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-18-32

## ВВЕДЕНИЕ

Водные сообщества подвержены существенным изменениям состава, структуры и обилия в течение вегетационного сезона, что связано преимущественно с чувствительностью гидробионтов к колебаниям температуры. Исследования в разные сезоны года позволяют выявить истинное видовое богатство и разнообразие, оценить межгодовые изменения структуры и обилия сообществ, объективно проанализировать особенности функционирования водных экосистем.

В Вологодской области исследования зоопланктона, охватывающие все сезоны года, ограничены. Круглогодичные наблюдения за зоопланктоном осуществлялись в конце 1970-х – начале 1980-х гг. на некоторых малых озерах Лозко-Азатской группы [Литвин, 1984 (Litvin, 1984)]. Наблюдения за подледным зоопланктоном проводились на озерах Белое, Кубенское, Сиверское, Зауломское и Бородаевское в 1973, 1977, 1980-х, 1993 и 2001 гг. [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981); Ривьер, 2012 (Riviere, 2012)].

Исследования зоопланктона (в том числе мониторинговые) разных участков Шекснинского водохранилища ранее охватывали только период открытой воды [Пидгайко, 1969 (Pidgayko, 1969); Литвин, 1978 (Litvin, 1978); Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981); Пихтова, 1983 (Pikhtova, 1983); Думнич, 1997 (Dumnich, 1997); Думнич, Крылов, 2002 (Dumnich, Krylov, 2002); Ривьер, Литвинов, 2006 (Riviere, Litvinov, 2006); Думнич, Лобуничева, 2016 (Dumnich, Lobunicheva, 2016) и др.]. Комплексные гидробиологические съемки проводились летом или в начале осени [Думнич, Лобуничева, 2012 (Dumnich, Lobunicheva, 2012); Лазарева и др., 2013 (Lazareva et al., 2013)].

Цель настоящей работы – характеристика и анализ сезонных изменений видового состава, структуры и обилия зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Шекснинское водохранилище, образованное в результате перекрытия в июне 1963 г. р. Шексны у пос. Усть-Угольское, располагается в западной части Вологодской области и является составной частью Волго-Балтийского водного пути. Водохранилище включает в себя три участка: участок р. Ковжи Белозерской, Белое озеро (озерная часть) и затопленное русло р. Шексны (речная часть). Первые два участка часто рассматриваются как единый. Общая протяженность водохранилища между Пахомовским и Шекснинским гидроузлами 262 км [Литвинов, 2002 (Litvinov, 2002)].

Озерная часть водохранилища (оз. Белое) площадью 1284 км<sup>2</sup> мелководна. Средняя глубина озера составляет 4.1 м. Глубины от берегов к центру нарастают постепенно, доходя в центральной части до 6.3 м. Береговая линия и озерная котловина по конфигурации просты, озеро имеет форму почти правильного овала.

Речная часть водохранилища включает в себя затопленное русло и пойму р. Шексна от Белого озера до Шекснинского гидроузла. Длина речного участка 120 км, общая площадь – 381 км<sup>2</sup>. Речная часть подразделяется на собственно речной участок от истока р. Шексны до с. Топорня, Сизьменский разлив и приплотинный плес [Литвинов, 2002 (Litvinov, 2002)].

Исследования зоопланктона проводились в озерной и речной частях Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг. Сбор проб зоопланктона проводили ежегодно в марте, мае, августе и ноябре на стандартной сетке станций. На Белом озере также проводилась ежегодная гидробиологическая съемка в конце сентября–начале октября. Сбор проб во все периоды осуществляли единым орудием лова – сетью Джели с размером ячеи 74 мкм с последующей фиксацией 4%-ным раствором формалина.

Камеральная обработка проб проводилась в соответствии с общепринятыми методиками [Методические рекомендации..., 1982 (Metodicheskie rekomendacii..., 1982)]. Определение таксономической принадлежности организмов осуществлялось с помощью соответствующих

определителей [Определитель зоопланктона..., 2010 (Opredelitel' zooplanktona..., 2010); Мануйлова, 1964 (Manujlova, 1964); Кутикова, 1970 (Kutikova, 1970) и др.] Номенклатура коловраток и ракообразных приведена в соответствии с данными Определителя зоопланктона... [2010 (Opredelitel' zooplanktona..., 2010)] и Определителя ветвистоусых... [Коровчинский и др., 2021 (Korovchinsky et al., 2021)].

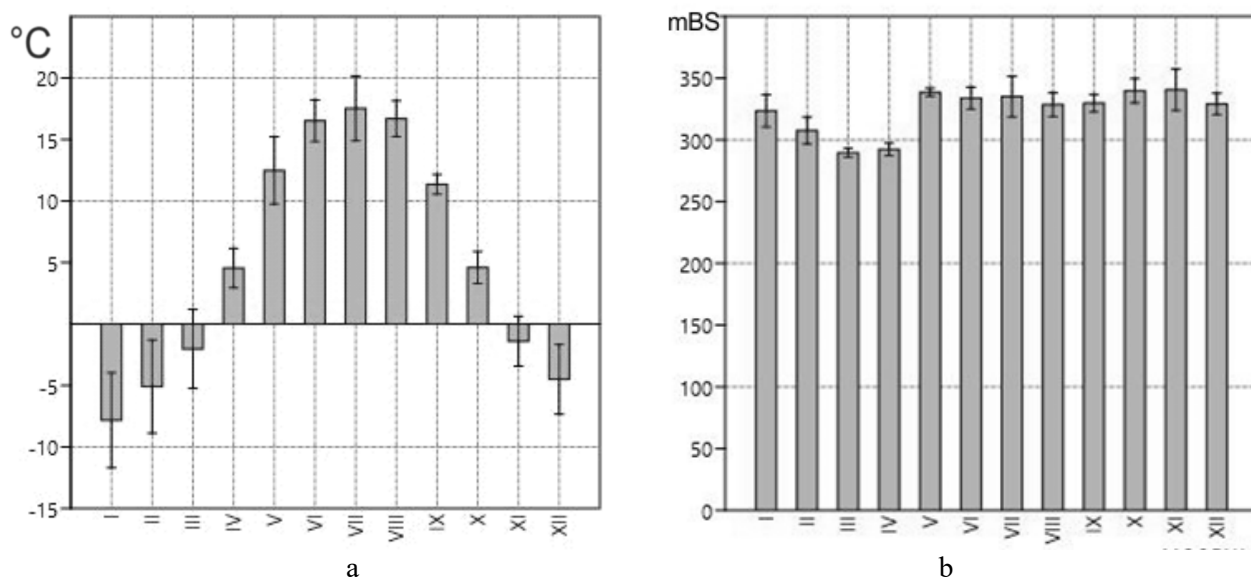
Биомассу зоопланктеров рассчитывали по формулам связи массы и длины тела организмов [Балушкина, Винберг, 1979 (Balushkina, Vinberg, 1979); Методические рекомендации..., 1982 (Metodicheskie rekomendacii..., 1982); Ruttner-Kolisko, 1977]. В ходе анализа использовали такие показатели, как число видов (общее и по таксономическим группам), их встречаемость (отношение числа проб, где вид был обнаружен к общему числу проб), индекс доминирования Симпсона [Песенко, 1982 (Pesenko, 1982)]. Выделяли комплекс доминантных видов (виды с относительными численностью более 5% отдельно в группах коловраток и ракообразных [Лазарева и др., 2001 (Lazareva et al., 2001)]), рассчитывали общие численность (тыс. экз/м<sup>3</sup>) и биомассу (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона и таксономических групп за отдельные периоды наблюдений. Для оценки сходства видового состава зоопланктона использовали индекс Чекановского-Сьеренсена [Песенко, 1982 (Pesenko, 1982)]. Классификацию доминантных комплексов выполняли с использованием иерархического кластерного анализа на основе коэффициента сходства Брея-Кертиса методом попарного присоединения с помощью Past 4.0. При анализе полученных результатов рассчитывали стандартную ошибку среднего арифметического [Ивантер, Коросов, 2003 (Ivanter, Korosov, 2003)].

Данные о температуре воздуха на метеостанции г. Череповец в анализируемый период получены с <https://tr5.ru>, об уровнях воды – <https://gmvo.skniivh.ru>. Параллельно с отбором проб зоопланктона измеряли прозрачность воды при помощи стандартного диска Секки, температуру и насыщение воды растворенным портативным анализатором Самара-2pH.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Бассейн Шекснинского водохранилища характеризуется продолжительной, но сравнительно мягкой зимой, умеренно теплым летом и неустойчивой погодой в переходные периоды [Литвинов, Рошчупко, 2002 (Litvinov, Roshchupko, 2002)].

Для района Шекснинского водохранилища свойственен одновершинный характер кривой хода температуры. Колебания среднемесячных значений температуры воздуха в разные годы значительны и достигают в отдельные месяцы 10–11°C. Наиболее стабильна температура воздуха в начале осени (рис. 1).



**Рис. 1.** Динамика температуры воздуха (метеостанция г. Череповец) (а) и уровней воды Шекснинского водохранилища (пост Белозерск) (б) по месяцам в 2016–2020 гг. (95% ДИ) (по <https://rp5.ru>, <https://gmvo.skniivh.ru>).

**Fig. 1.** Dynamics of air temperature (weather station in Cherepovets) (a) and water levels of the Sheksna reservoir (Belozersk post) (b) by months in 2016–2020 (95% CI) (<https://rp5.ru>, <https://gmvo.skniivh.ru>).

Сезонные колебания уровня воды в Шекснинском водохранилище практически не выражены, что связано с режимом эксплуатации водохранилища как транспортного пути. Это не позволяет выделять для этого водоема основные фазы гидрологического режима, характерные для не зарегулированных водных объектов. Межгодовые колебания уровня воды в разные сезоны года также незначительны.

Термический режим Шекснинского водохранилища определяется морфометрическими особенностями разных участков. Речная часть водохранилища раньше освобождается весной ото льда. Вода в речной части прогревается быстрее [Литвинов, Рощупко, 2002 (Litvinov, Roshchupko, 2002)].

Колебания некоторых параметров воды на разных участках водохранилища в период отбора проб в 2016–2020 гг. представлены в табл. 1. Несмотря на сезонные и межгодовые колебания, средние значения температуры воды, прозрачности и концентрации кислорода в разные годы очень близки. Средние значения температуры воды сильно зависят от кратковременных изменений метеоусловий в период наблюдений. Речная часть водохранилища характеризуется большей прозрачностью воды. Снижение прозрачности воды в оз. Белое связано с ежегодным массовым развитием сине-зеленых водорослей [Макаренкова, 2018 (Makarenkova, 2018)]. Кислородный режим на всей акватории водохранилища благоприятный.

В составе зоопланктона Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг. зарегистриро-

вано 107 видов животных. Коловратки были представлены 41, ветвистоусые ракообразные – 41, веслоногие ракообразные – 25 видами (табл. 2). Среди коловраток наиболее богаты видами семейства Brachionidae и Synchaetidae. Наибольшее число видов Cladocera принадлежат к семействам Daphniidae и Chydoridae.

В оз. Белое в анализируемый период зарегистрировано 88 видов зоопланктонов (Rotifera – 32, Cladocera – 31, Copepoda – 25), в речной части водохранилища – 90 (Rotifera – 31, Cladocera – 36, Copepoda – 23). Из них 7 видов обнаружено впервые для оз. Белое (*Euchlanis incisa*, *E. oropha*, *Notholca squamula*, *Alonella nana*, *Cyclops abyssorum*, *Eucyclops macruioides*, *Metacyclops gracilis*) и 17 для речной части водохранилища (*Filinia terminalis*, *Euchlanis incisa*, *Brachionus calyciflorus*, *Notholca acuminata*, *N. cinetura*, *Synchaeta verrucosa*, *Mytilina ventralis*, *Scapholeberis mucronata*, *Simocephalus vetulus*, *Acroperus angustatus*, *Alonopsis elongata*, *Eurycercus lamellatus*, *Cyclops abyssorum*, *Eucyclops macruioides*, *E. macrurus*, *E. speratus*, *Microcyclops varicans*).

Сообщества озерного и речного участков водохранилища характеризуются значительным сходством состава зоопланктона (индекс Чекановского-Сьеренсена 76%). Лишь в речной части водохранилища обнаружены такие тривиальные для таежных водоемов виды, характерные для литорали и зарослей макрофитов, как *Scapholeberis mucronata*, *Simocephalus vetulus*, *Eurycercus lamellatus*, *Acroperus angustatus*, *Alonopsis elongata*, *Pleuroxus trunca-*

*tus*, *Rhynchotalona falcata*, *Macrothrix hirsuticornis*, *Ectocyclops phaleratus*. Только в озерной части водоема осенью 2016 г. была зарегистрирована *Diaphanosoma orghidani*, вид-вселенец из более южных участков Волго-

Балтийского водного пути [Лазарева, 2008 (Lazareva, 2008)]. В 2005 и 2007 гг. этот вид указывался по всей акватории водохранилища [Лазарева и др., 2013 (Lazareva et al., 2013)].

**Таблица 1.** Температура, прозрачность и концентрация в воде кислорода на разных участках Шекснинского водохранилища в периоды отбора проб

**Table 1.** Temperature, transparency and concentration of oxygen in water in different parts of the Sheksna reservoir during sampling date

| Период наблюдений<br>Sampling date | Температура воды, °C<br>Water temperature, °C |                    | Прозрачность, м<br>Transparency, m |                    | Концентрация кислорода, мг/л<br>Concentration of oxygen, mg/l |                    |
|------------------------------------|---|--------------------|------------------------------------|--------------------|---|--------------------|
|                                    | колебания<br>fluctuations                     | средняя<br>average | колебания<br>fluctuations          | средняя<br>average | колебания<br>fluctuations                                     | средняя<br>average |
| озерная часть / lake part          |   |                    |                                    |                    |   |                    |
| 30.03.–8.11.2016                   | 0.4–18.5                                      | 9.4±0.97           | 0.4–1.1                            | 0.8±0.05           | 10.4–17.2   | 13.7±1.18          |
| 1.03.–14.11.2017                   | 0.8–16.2                                      | 9.7±0.88           | 0.6–1.3                            | 0.8±0.04           | 8.9–17.2  | 11.0±0.38          |
| 21.03.–8.11.2018                   | 0.4–20.5                                      | 9.8±1.26           | 0.2–1.0                            | 0.6±0.05           | 8.2–15.2  | 10.7±0.34          |
| 19.03.–25.11.2019                  | 0.1–18.3                                      | 7.9±1.09           | 0.2–1.8                            | 0.8±0.10           | 9.7–16.5  | 12.1±0.44          |
| 23.03.–25.11.2020                  | 0.5–18.3                                      | 9.5±1.23           | 0.6–1.5                            | 1.1±0.06           | 9.0–13.9  | 11.0±0.34          |
| речная часть / river part          |   |                    |                                    |                    |   |                    |
| 2.02.–7.11.2016                    | 0.2–21.3                                      | 8.6±2.12           | 0.5–1.5                            | 1.1±0.24           | 3.8–17.7  | 12.6±2.38          |
| 2.03.–22.11.2017                   | 0.5–20.8                                      | 12.8±1.82          | 0.5–1.3                            | 1.1±0.06           | 10.1–16.3   | 12.0±0.57          |
| 15.03.–31.10.2018                  | 0.4–19.8                                      | 10.0±2.45          | 0.6–1.2                            | 0.9±0.07           | 8.6–14.7  | 11.6±0.59          |
| 19.03.–12.11.2019                  | 0.1–19.5                                      | 8.6±2.52           | 1.0–1.5                            | 1.2±0.08           | 8.2–15.6  | 12.2±0.77          |
| 18.03.–10.11.2020                  | 0.5–20.5                                      | 7.9±2.21           | 0.5–1.5                            | 1.0±0.11           | 8.0–13.1  | 10.6±0.43          |

**Таблица 2.** Состав, встречаемость и доминантные виды зоопланктона Шекснинского водохранилища в разные периоды 2016–2020 гг.

**Table 2.** Species composition and occurrences and dominant species of zooplankton of the Sheksna reservoir in different periods 2016–2020

| Таксон<br>Taxon                                  | Участок водохранилища / Reservoir part        |   |      |   |    |                            |   |      |    |
|--|---|---|------|---|----|----------------------------|---|------|----|
|  | озерная (оз. Белое)<br>lake part (Beloe Lake) |   |      |   |    | речная часть<br>river part |   |      |    |
|  | III   | V | VIII | X | XI | III                        | V | VIII | XI |
| <b>Тип Rotifera</b>                              |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <b>Сем. Philodinidae</b>                         |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Dissotrocha aculeata aculeata</i> (Ehrenberg) | –   | + | –    | – | –  | –                          | + | –    | –  |
| <b>Сем. Filiniidae</b>                           |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)             | –   | + | +    | + | –  | –                          | + | +    | –  |
| <i>F. terminalis</i> (Plate)                     | –   | – | –    | – | –  | +                          | – | –    | –  |
| <b>Сем. Testudinellidae</b>                      |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Testudinella patina</i> (Hermann)             | –   | – | +    | – | –  | –                          | – | –    | –  |
| <b>Сем. Conochilidae</b>                         |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Conochilus unicornis</i> Rousselet            | –   | + | ++   | + | –  | –                          | + | +    | –  |
| <i>C. hippocrepsis</i> (Schrank)                 | –   | – | +    | – | –  | –                          | – | –    | –  |
| <b>Сем. Epiphanidae</b>                          |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Epiphanes macroura</i> (Barrois & Daday)      | –   | – | +    | – | –  | –                          | – | –    | –  |
| <b>Сем. Euchlanidae</b>                          |   |   |      |   |    |                            |   |      |    |
| <i>Euchlanis deflexa</i> (Gosse)                 | –   | – | +    | – | –  | –                          | – | –    | –  |
| <i>E. dilatata</i> Ehrenberg                     | –   | + | +    | + | –  | –                          | + | +    | –  |
| <i>E. d. lucksiana</i> Hauer                     | –   | – | –    | + | –  | –                          | – | –    | –  |
| <i>E. incisa</i> Carlin                          | –   | – | –    | + | –  | –                          | – | +    | –  |
| <i>E. meneta</i> Myers                           | –   | – | –    | + | –  | –                          | – | +    | –  |
| <i>E. oropha</i> Gosse                           | –   | – | –    | + | –  | –                          | – | –    | –  |

| Таксон<br>Taxon                                 | Участок водохранилища / Reservoir part        |     |      |     |     |                            |     |      |     |
|---|---|-----|------|-----|-----|----------------------------|-----|------|-----|
|   | озерная (оз. Белое)<br>lake part (Beloe Lake) |     |      |     |     | речная часть<br>river part |     |      |     |
|   | III   | V   | VIII | X   | XI  | III                        | V   | VIII | XI  |
| <i>Euchlanis</i> sp.                            | –   | –   | +    | +   | –   | –                          | +   | +    | –   |
| <b>Сем. Brachionidae</b>                        |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas           | +   | –   | –    | –   | –   | –                          | –   | +    | –   |
| <i>B. quadridentatus</i> Herman                 | –   | –   | –    | +   |     | +                          | –   | –    | –   |
| <i>Brachionus</i> sp.                           | –   | –   | –    | –   | –   | +                          | –   | –    | –   |
| <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg)           | –   | –   | –    | –   | –   | +                          | –   | –    | –   |
| <i>N. caudata</i> Carlin                        | +   | –   | –    | –   | –   | +                          | –   | –    | +   |
| <i>N. cinetura</i> Skorikov                     | +   | –   | –    | –   | +   | +                          | –   | –    | +   |
| <i>N. squamula</i> (Müller)                     | +   | –   | –    | –   | –   | +                          | –   | –    | –   |
| <i>Notholca</i> sp.                             | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | +   | –    | –   |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)       | +   | +++ | +++  | +++ | +   | +++                        | +++ | +++  | ++  |
| <i>Keratella cochlearis</i> (Gosse)             | +++   | +++ | ++   | +++ | +++ | +++                        | +++ | ++   | +++ |
| <i>K. hiemalis</i> Carlin                       | ++  | +   | –    | –   | –   | ++                         | +   | –    | +   |
| <i>K. quadrata</i> (Müller)                     | +++   | +++ | +    | ++  | +   | ++                         | +++ | +    | +   |
| <i>K. serrulata</i> (Ehrenberg)                 | –   | +   | –    | –   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <b>Сем. Asplanchidae</b>                        |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse               | +   | ++  | +    | +++ | ++  | +                          | +++ | ++   | ++  |
| <i>A. herricki</i> Guerne                       | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | +   | –    | –   |
| <b>Сем. Synchaetidae</b>                        |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof)                 | –   | +   | +    | +   | –   | –                          | +   | +    | –   |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin               | –   | –   | +    | +   | –   | –                          | –   | +    | +   |
| <i>P. dolichoptera</i> Idelson                  | –   | –   | –    | +   | –   | –                          | +   | –    | +   |
| <i>P. luminosa</i> Kutikova                     | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | –   | +    | +   |
| <i>P. major</i> Burckhardt                      | –   | –   | +    | +   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <i>Polyarthra</i> sp.                           | +   | +   | ++   | ++  | +   | +                          | ++  | +++  | +   |
| <i>Synchaeta verrucosa</i> Nipkow               | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | +   | –    | –   |
| <i>S. grandis</i> Zacharias                     | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | +   | –    | –   |
| <i>S. pectinata</i> Ehrenberg                   | +   | ++  | –    | –   | +   | –                          | +   | +    | +   |
| <i>Synchaeta</i> sp.                            | +   | –   | –    | +   | +   | –                          | +   | –    | –   |
| <b>Сем. Mytilinidae</b>                         |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg)           | –   | +   | –    | –   | –   | –                          | –   | +    | –   |
| <b>Сем. Notommatidae</b>                        |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Notommata</i> sp.                            | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | +   | –    | –   |
| <i>Cephalodella</i> sp.                         | +   | –   | –    | +   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <b>Сем. Trichocercidae</b>                      |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Trichocerca (Diurella) brachyura</i> (Gosse) | –   | –   | –    | +   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <i>T. (s. str.) longiseta</i> (Schränk, 1802)   | –   | +   | –    | –   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <i>Trichocerca</i> sp.                          | –   | –   | +    | +   | –   | –                          | –   | +    | –   |
| <b>Сем. Trichotriidae</b>                       |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Trichotria curta</i> (Skorikov)              | –   | –   | –    | –   | –   | –                          | –   | +    | –   |
| <i>T. truncata</i> (Whitelegge)                 | –   | –   | +    | –   | –   | –                          | –   | –    | +   |
| <i>Trichotria</i> sp.                           | –   | –   | +    | –   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <b>Тип Arthropoda</b>                           |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <b>Подтип Crustacea</b>                         |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <b>Сем. Sididae</b>                             |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin)         | –   | +   | ++   | +   | –   | –                          | +   | ++   | –   |
| <i>D. orghidani</i> Negrea                      | –   | –   | –    | +   | –   | –                          | –   | –    | –   |
| <i>Limnospila frontosa</i> Sars                 | –   | +   | +++  | ++  | –   | –                          | ++  | +++  | –   |
| <i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller)           | –   | –   | +    | +   | –   | –                          | +   | ++   | –   |

| Таксон<br>Taxon   | Участок водохранилища / Reservoir part        |     |      |     |     |                            |     |      |     |
|---|---|-----|------|-----|-----|----------------------------|-----|------|-----|
|   | озерная (оз. Белое)<br>lake part (Beloe Lake) |     |      |     |     | речная часть<br>river part |     |      |     |
|   | III   | V   | VIII | X   | XI  | III                        | V   | VIII | XI  |
| <b>Сем. Daphniidae</b>                                      |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Daphnia (Daphnia) cucullata</i> Sars                     | —   | +   | ++   | +   | +   | +                          | —   | ++   | —   |
| <i>D. (D.) cristata</i> Sars                                | +   | ++  | ++   | +++ | +   | +                          | ++  | +++  | +   |
| <i>D. (D.) galeata</i> Sars                                 | —   | —   | +++  | +++ | +   | +                          | +   | ++   | +   |
| <i>D. (D.) hyalina</i> Leydig                               | —   | +   | +    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>D. (D.) longiremis</i> Sars                              | —   | +   | +    | —   | +   | +                          | —   | +    | +   |
| <i>D. (D.) longispina</i> (O.F. Müller)                     | —   | +   | —    | +++ | +   | —                          | +   | ++   |     |
| <i>Daphnia</i> sp.  | —   | +   | +    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars                          | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | +   | +    | —   |
| <i>C. quadrangula</i> (O.F. Müller)                         | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | +   | +    | +   |
| <i>Ceriodaphnia</i> sp.                                     | —   | —   | +    | +   | +   | —                          | +   | +    | —   |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller)                | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Simocephalus (Simocephalus) vetulus</i><br>(O.F. Müller) | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <b>Сем. Bosminidae</b>                                      |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Bosmina (Eubosmina) cf. coregoni</i> Baird               | +   | ++  | ++   | +++ | +++ | +                          | +++ | +++  | +++ |
| <i>B. (E.) cf. crassicornis</i> Lilljeborg                  | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | —   | ++   | +   |
| <i>B. (E.) cf. gibbera</i> Schödler                         | —   | +   | ++   | ++  | ++  | —                          | +   | +    | +   |
| <i>B. (E.) cf. cederströmi</i> Schödler                     | —   | —   | —    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>B. (E.) cf. kessleri</i> Uljanin                         | —   | +   | +    | +   | —   | —                          | +   | +    | —   |
| <i>B. (E.) cf. reflexa</i> Seligo                           | —   | —   | +    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>B. (E.) cf. longispina</i> Leydig                        | —   | +   | +    | +++ | +   | +                          | +   | ++   | ++  |
| <i>B. (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Müller)              | +   | ++  | ++   | +   | ++  | +                          | +   | +    | +   |
| <i>Bosmina</i> sp.  | —   | —   | +    | +   | —   | —                          | +   | +    | +   |
| <b>Сем. Chydoridae</b>                                      |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Acroperus angustatus</i> Sars                            | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>A. harpae</i> (Baird)                                    | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Alona quadranqularis</i> (O.F. Müller)                   | —   | +   | +    | +   | +   | —                          | —   | +    | +   |
| <i>Alona</i> sp.  | —   | +   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Biapertura affinis</i> Leydig                            | —   | +   | +    | —   | —   | —                          | —   | —    | +   |
| <i>Flavalona costata</i> (Sars)                             | —   | —   | —    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Coronatella rectangula</i> (Sars)                        | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Alonella nana</i> (Baird)                                | —   | +   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Alonella</i> sp.   | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | —   | —    | —   |
| <i>Alonopsis elongata</i> (Sars)                            | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)                    | —   | +++ | +++  | +++ | +   | +                          | +++ | +++  | +   |
| <i>C. ovalis</i> Kurz                                       | —   | —   | +    | +   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Pseudochydorus globosus</i> (Baird)                      | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Disparalona rostrata</i> (Koch)                          | —   | —   | +    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer)                 | +   | —   | +    | —   | —   | —                          | —   | —    | —   |
| <i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine)                           | —   | +   | —    | —   | —   | —                          | —   | —    | —   |
| <i>P. truncatus</i> (O.F. Müller)                           | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Pleuroxus</i> sp.  | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Rhynchotalona falcata</i> (Sars)                         | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | —   | +    | —   |
| <i>Monospilus dispar</i> Sars                               | —   | —   | +    | —   | +   | —                          | —   | +    | —   |
| <b>Сем. Macrothricidae</b>                                  |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman et Brady             | —   | —   | —    | —   | —   | —                          | +   | —    | —   |
| <b>Сем. Ilyocryptus</b>                                     |   |     |      |     |     |                            |     |      |     |
| <i>Ilyocryptus acutifrons</i> Sars                          | —   | —   | —    | —   | +   | —                          | —   | —    | —   |

| Таксон<br>Taxon                                       | Участок водохранилища / Reservoir part        |           |           |           |           |                            |           |           |           |
|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|   | озерная (оз. Белое)<br>lake part (Beloe Lake) |           |           |           |           | речная часть<br>river part |           |           |           |
|   | III   | V         | VIII      | X         | XI        | III                        | V         | VIII      | XI        |
| <b>Сем. Euryercidae</b>                               |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Euryercus (Euryercus) lamellatus</i> (O.F. Müller) | –   | –         | –         | –         | –         | –                          | –         | +         | –         |
| <b>Сем. Cercopagidae</b>                              |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig                 | –   | –         | +         | +         | –         | –                          | –         | +         | –         |
| <i>B. brevimanus</i> Lilljeborg                       | –   | –         | +         | +         | –         | –                          | –         | –         | –         |
| <i>B. cederströmi</i> Schödler                        | –   | +         | –         | +         | –         | –                          | +         | +         | –         |
| <b>Сем. Polyphemidae</b>                              |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus)                | –   | –         | –         | –         | +         | –                          | –         | +         | –         |
| <b>Сем. Leptodoridae</b>                              |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Leptodora kindtii</i> (Focke)                      | –   | +         | ++        | +++       | –         | –                          | +         | +++       | –         |
| <b>Сем. Diaptomidae</b>                               |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars)                    | +++   | +++       | +++       | +++       | +++       | +++                        | +++       | +++       | +++       |
| <i>E. graciloides</i> (Lilljeborg)                    | +   | –         | –         | +         | –         | –                          | –         | +         | –         |
| <b>Сем. Temoridae</b>                                 |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Heterocope appendiculata</i> Sars                  | –   | +         | +++       | ++        | +         | –                          | ++        | ++        | +         |
| <b>Сем. Cyclopidae</b>                                |   |           |           |           |           |                            |           |           |           |
| <i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer)              | +   | –         | –         | +         | –         | –                          | –         | –         | –         |
| <i>Cyclops strenuus</i> Fischer                       | –   | +         | ++        | +         | +         | +                          | ++        | +         | –         |
| <i>C. vicinus</i> Uljanin                             | –   | +         | +         | +         | +         | –                          | ++        | +         | +         |
| <i>C. abyssorum</i> Sars                              | –   | +         | +         | –         | +         | +                          | +         | +         | –         |
| <i>C. kolensis</i> Lilljeborg                         | +   | +         | +         | +         | +         | +                          | +         | +         | +         |
| <i>C. scutifer</i> Sars                               | +   | +         | +         | –         | –         | +                          | +         | +         | –         |
| <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars)               | –   | +         | ++        | +++       | ++        | –                          | ++        | ++        | +         |
| <i>T. crassus</i> (Fischer)                           | –   | +         | –         | –         | –         | –                          | +         | +         | –         |
| <i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus)                | +   | +         | +         | +         | –         | +                          | +         | +         | –         |
| <i>Ectocyclops phaleratus</i> (Koch)                  | –   | –         | –         | –         | –         | –                          | –         | +         | –         |
| <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer)                 | +   | +         | ++        | +         | +         | +                          | ++        | +         | –         |
| <i>E. macruroides</i> (Lilljeborg)                    | –   | –         | ++        | –         | +         | –                          | –         | +         | –         |
| <i>E. macrurus</i> (Sars)                             | –   | –         | +         | +         | +         | –                          | –         | +         | –         |
| <i>E. speratus</i> (Lilljeborg)                       | –   | –         | –         | –         | +         | –                          | –         | +         | +         |
| <i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine)                   | –   | –         | –         | +         | +         | –                          | –         | +         | –         |
| <i>Megacyclus gigas</i> (Claus)                       | –   | –         | +         | +         | –         | –                          | –         | –         | –         |
| <i>Megacyclus viridis</i> (Jurine)                    | +   | +         | +         | ++        | ++        | –                          | +         | +         | +         |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)                  | +   | +++       | +++       | +++       | +         | +                          | +++       | +++       | ++        |
| <i>Metacyclus gracilis</i> (Lilljeborg)               | –   | +         | –         | –         | –         | –                          | –         | –         | –         |
| <i>Microcyclus varicans</i> (Sars)                    | –   | –         | –         | +         | –         | –                          | +         | –         | –         |
| <i>Paracyclus affinis</i> (Sars)                      | –   | +         | +++       | +         | +         | –                          | ++        | ++        | +         |
| <i>P. fimbriatus</i> (Fischer)                        | –   | +         | +         | +         | –         | –                          | +         | +         | –         |
| Harpactiformes  | –   | –         | –         | –         | +         | –                          | +         | –         | +         |
| <b>Общее число видов, в том числе</b>                 | <b>25</b>                                     | <b>49</b> | <b>63</b> | <b>62</b> | <b>37</b> | <b>29</b>                  | <b>52</b> | <b>79</b> | <b>33</b> |
| <b>Rotifera</b>                                       | <b>12</b>                                     | <b>15</b> | <b>19</b> | <b>22</b> | <b>8</b>  | <b>14</b>                  | <b>19</b> | <b>19</b> | <b>13</b> |
| <b>Cladocera</b>                                      | <b>4</b>                                      | <b>18</b> | <b>27</b> | <b>22</b> | <b>13</b> | <b>7</b>                   | <b>16</b> | <b>39</b> | <b>10</b> |
| <b>Copepoda</b>                                       | <b>9</b>                                      | <b>16</b> | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>16</b> | <b>8</b>                   | <b>17</b> | <b>21</b> | <b>10</b> |

**Примечание.** +++ – вид встречается очень часто (>50% проб), ++ – часто (25–49%), + – редко (<24%), знаком + отмечены доминирующие виды.

**Note.** +++ – the species is widespread (>50% of the samples), ++ – the species is common (25–49% of the samples), + – the species is rare (<24% of the samples).



В подледный период в зоопланктоне водоема обнаружено наименьшее число видов (табл. 2). В единичной пробе регистрируется в среднем  $5 \pm 0.8$  видов зоопланктеров в озерной части и  $6 \pm 0.8$  видов в речной части водохранилища. Большая часть видов, отмеченных в подледный период, встречаются в водохранилище в течение всего года. За счет криофильных форм (р. *Notholca*, *Filinia terminalis*) в этот период увеличивается разнообразие коловраток. В подавляющем большинстве проб регистрируются *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* и калянида *Eudiaptomus gracilis*, которые также и доминируют в сообществе.

С распадением льда и увеличением температуры воды в зоопланктоне водохранилища увеличивается разнообразие организмов, особенно ракообразных. В мае 2016–2020 гг. в озерной части водохранилища обнаружено 49 видов зоопланктеров, в речной – 52 вида. Видовое богатство зоопланктона в пробе варьировало от  $10 \pm 1.5$  до  $17 \pm 0.6$  в озерной части и от  $7 \pm 0.6$  до  $12 \pm 0.3$  в речной части водохранилища. Набор видов с высокой встречаемостью расширяется преимущественно за счет кладоцер (*Daphnia cristata*, *Bosmina* cf. *coregoni*, *B. longirostris*, *Chydorus sphaericus*) и *Mesocyclops leuckarti*. Состав комплекса доминантов остается неизменным (табл. 2).

Максимальное видовое богатство зоопланктона на всей акватории водохранилища наблюдается в летний период. Наиболее разнообразна в этот период группа ветвистоусых ракообразных. В речной части Шекснинского водохранилища видовое богатство кладоцер выше за счет фитофильных видов из семейств Daphniidae и Chydoridae. Число видов в единичной пробе в летний период сходно на всей акватории водохранилища. В речной части этот показатель колебался от  $13 \pm 1.4$  до  $18 \pm 1.7$  видов, в оз. Белое – от  $12 \pm 0.5$  до  $17 \pm 0.7$  видов. В летний период ядро сообщества составляют порядка 9–10 видов. Помимо *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata* и *Eudiaptomus gracilis*, это кладоцеры *Daphnia cristata*, *Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus* и циклоп *Mesocyclops leuckarti*. В озерной части водохранилища высокой встречаемостью характеризуется также *Bosmina longirostris* и *Daphnia galeata*. В августе на всей акватории водохранилища увеличивается встречаемость всех видов рода *Daphnia*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Limnosedra frontosa*.

В конце сентября–начале октября число видов в составе зоопланктона оз. Белое соответствует летним значениям (табл. 2). Не-

сколько снижается число видов в единичной пробе ( $7 \pm 0.7$ – $17 \pm 0.4$ ). Уменьшается встречаемость в сообществе видов семейства Sididae и копепод, за исключением доминирующих *Mesocyclops leuckarti* и *Thermocyclops oithonoides*. В большинстве проб в первой половине осени регистрируется *Daphnia cristata*, *D. longispina*, *Bosmina coregoni*, *Leptodora kindtii*.

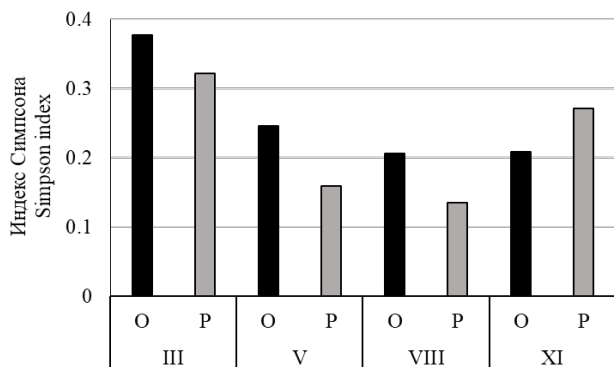
В конце осени до замерзания водоема видовое богатство зоопланктона значительно снижается. Особенно это заметно в речной части водохранилища, где в летний период по числу видов преобладали кладоцеры. Число видов зоопланктеров в единичной пробе сходно на всех участках водоема и варьирует в разные годы от  $3 \pm 0.3$  до  $11 \pm 1.4$ . Среднее число видов в пробе сравнимо с аналогичным показателем в подледный период ( $7 \pm 1.0$ ). В ноябре в сообществе водохранилища вновь отмечаются холодолюбивые коловратки р. *Notholca*, не свойственные зоопланктону водоема в весенне-летний период. Однако, разнообразие этой группы коловраток ниже, чем в марте. Реже встречается и не является доминантом *Kellicottia longispina*. Среди коловраток повсеместно в водоеме доминирует *Keratella cochlearis*. В речной части водохранилища доминантами являются также *Keratella quadrata* и *Polyarthra* sp. Снижается встречаемость большинства ракообразных. В составе доминантов сохраняются *Bosmina coregoni* и *Eudiaptomus gracilis*.

Уровень доминирования отражает сезонные изменения структуры сообществ. Максимальные значения индекса доминирования Симпсона характерны для зоопланктона Шекснинского водохранилища в марте (0.32–0.38). В летний период уровень доминирования минимален (0.13–0.21). При этом в оз. Белое этот показатель во все периоды наблюдений, за исключением конца осени выше (рис. 2). В целом показатель доминирования соответствует таковому в Рыбинском водохранилище и мезо-эвтрофных водоемах [Лазарева, 2010 (Lazareva, 2010)].

Относительная численность доминантных видов зоопланктона меняется в течение года (рис. 3). Небольшой набор видов (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Eudiaptomus gracilis*) характеризуется высокой плотностью во все сезоны года. Часть видов являются доминантами в водохранилище лишь в отдельные периоды.

Зимой помимо указанных выше видов в число доминантов в водохранилище входит криофильная *Keratella hiemalis*. Как и во мно-

гих водоемах [Ривьер, 2012 (Riviere, 2012)] этот вид регистрируется в планктоне Шекснинского водохранилища почти исключительно в подледный период. Лишь в мае 2020 г. при сравнительно низкой температуре воды в озерной и речной частях водохранилища на отдельных станциях мониторинга были обнаружены единичные особи этого вида. В озере зимой в число доминантов входит *Synchaeta pectinata*, в речной части – *Asplanchna priodonta*.



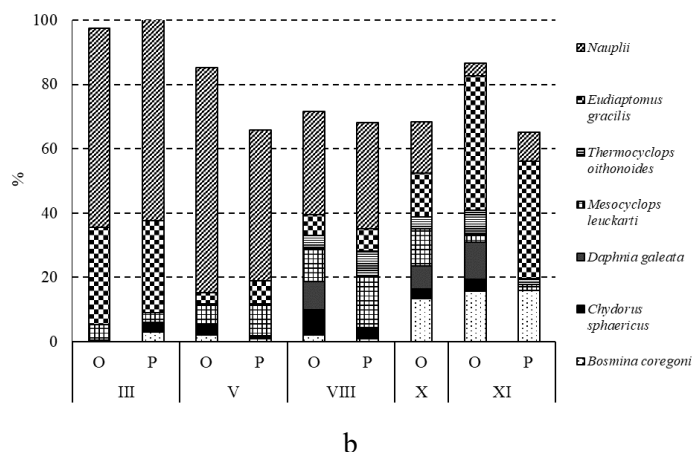
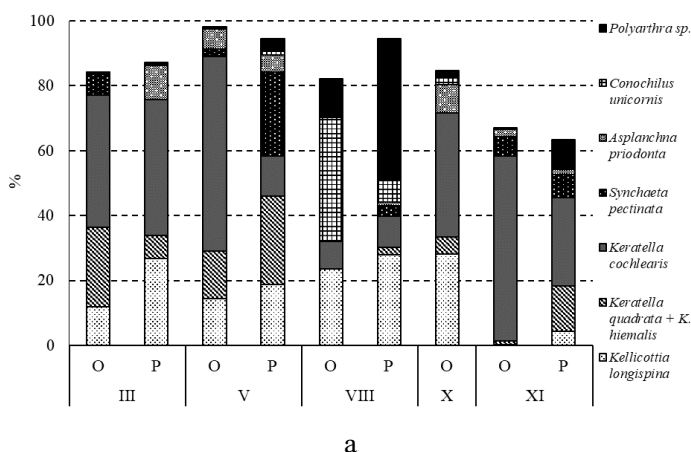
**Рис. 2.** Сезонная динамика индекса доминирования Симпсона зоопланктона Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг. По оси ординат – участки водохранилища и месяцы: О – озерный, Р – речной, III – март, V – май, VIII – август, XI – ноябрь.

**Fig. 2.** Seasonal dynamics of the Simpson dominance index of zooplankton in the Sheksna reservoir in 2016–2020. Y-axis – reservoir parts and months: O – lake part, P – river part, III – March, V – May, VIII – August, XI – November.

В мае в составе зоопланктона водохранилища доминируют коловратки и циклопы. На всей акватории водохранилища доминантами являются *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и *K. quadrata*. Среди веслоногих рачков преобладают науплии и копеподиты циклопид и *Eudiaptomus gracilis*.

В летний период в состав доминантного комплекса зоопланктона на всей акватории водохранилища входят коловратки рода *Polyarthra* и *Mesocyclops leuckarti*. Циклоп присутствует в составе сообщества весь год, но доминантом является лишь в летний период. В речной части водохранилища *M. leuckarti* доминирует и в мае (табл. 2). В отдельные годы в конце лета высокую численность формирует *Conochilus unicornis*. Особенно велика его плотность в озерной части водохранилища. В озере Белом летом доминируют *Daphnia galeata* и *Chydorus sphaericus*.

Осенью уровень доминирования в сообществе повышается (рис. 2). Повсеместно в водоеме доминируют *Keratella cochlearis*, *Bosmina coregoni* и *Eudiaptomus gracilis*. В речной части водохранилища к доминантам относятся также *Keratella quadrata* и *Polyarthra* sp., в озерной – *Thermocyclops oithonoides*.



**Рис. 3.** Относительная численность доминантов зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в 2016–2020 гг. (а – коловратки, б – ракообразные). Обозначения аналогичны рис. 2.

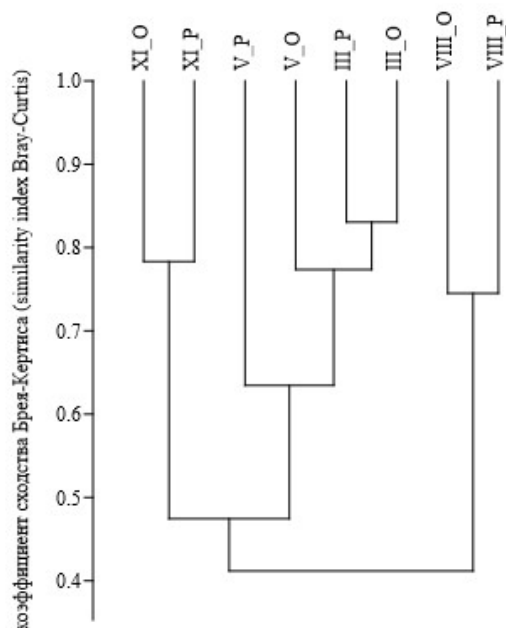
**Fig. 3.** Relative abundance of zooplankton dominants in different parts of the Sheksna reservoir in 2016–2020 (а – Rotifera, б – Crustacea). Notation is similar to the fig. 2.

Состав доминантного комплекса зоопланктона разных участков водохранилища в отдельные сезоны года сходен (рис. 4). При этом уровень сходства состава доминантов в разные сезоны низкий. Исключение со-

ставляет лишь весенний период. В мае структура доминирующего комплекса озерного и речного участков водохранилища различается. Относительная численность доминантов в озере в значительной степени сходна с таковой

в подледный период. Вероятно, это связано с более медленным прогревом воды в озерной части водоема.

За анализируемый 5-летний период численность и биомасса зоопланктона сильно варьировали. Это связано с естественными различиями метеоусловий в периоды наблюдений и колебаниями обилия отдельных видов. При этом характер кривых изменения численности и биомассы зоопланктона Шекснинского водохранилища сходен за весь анализируемый период и характеризуется максимумом летом (рис. 5).



**Рис. 4.** Дендрограмма сходства доминантного комплекса зоопланктона Шекснинского водохранилища в разные сезоны года по относительной численности (2016–2020 гг.). Участки водохранилища: О – озерный, Р – речной; месяцы: III – март, V – май, VIII – август, XI – ноябрь.

**Fig. 4.** Dendrogram of the similarity of the dominant zooplankton complex of the Sheksna reservoir in different seasons of the year of relative abundance (2016–2020). Reservoir parts: O – lake part, P – river part, months: III – March, V – May, VIII – August, XI – November.

В отдельные годы благодаря массовому развитию коловраток регистрировалось увеличение обилия зоопланктона в мае (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *Asplanchna priodonta*) и августе (*Conochilus unicornis*).

Основу численности и биомассы зоопланктона в водохранилище в период открытой воды составляют ракообразные (рис. 6). Высокая относительная численность характерна для циклопов. Обилие коловраток максимально в подледный период и

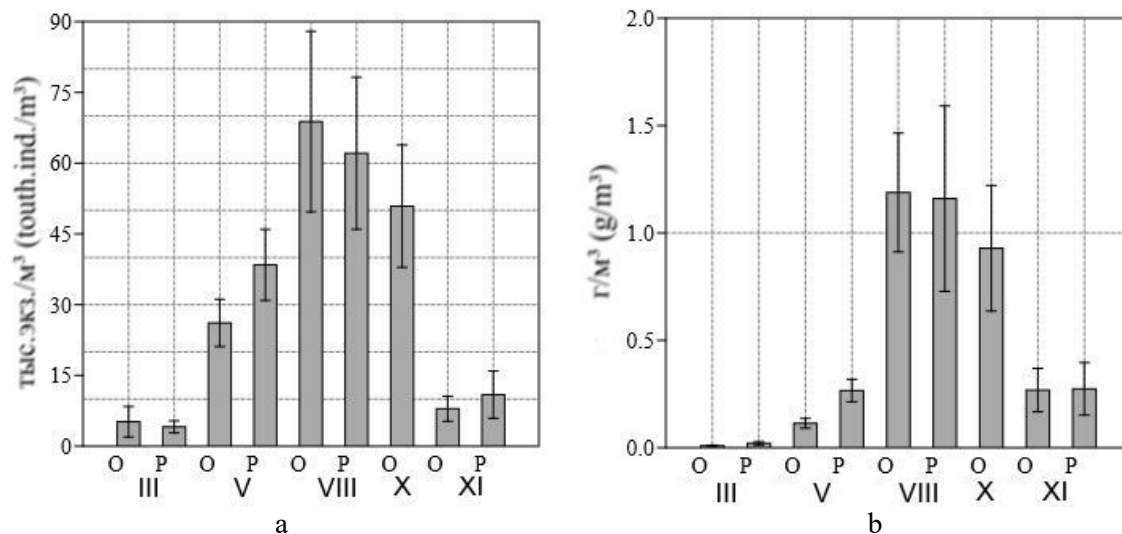
минимально осенью. Доля ветвистоусых рачков в общей численности зоопланктона увеличивается летом. При этом в августе в оз. Белое кладоцеры (*Daphnia galeata* и *Chydorus sphaericus*) входят в состав доминантного комплекса. В речной части водохранилища, несмотря на то, что кладоцеры составляют в среднем 23% общей численности зоопланктона, в составе доминантов представителей этой группы зоопланктеров нет (рис. 3). Преобладают по численности среди них *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia cristata*, *Limnospira frontosa*. В оз. Белое осенью *Bosmina coregoni* и *Daphnia galeata* являются доминантами, составляя суммарно от 20 (начало октября) до 28% (ноябрь) общей численности зоопланктона. В речной части водохранилища поздней осенью доминантом среди кладоцер является лишь *Bosmina coregoni* (рис. 3).

Изменения относительной биомассы разных групп зоопланктеров на разных участках водохранилища сходны. В зимне-весенний период основу биомассы составляют циклопы, летом – кладоцеры. На всей акватории водоема в этот период отмечается высокая биомасса представителей рода *Daphnia*, в речной части – *Limnospira frontosa*, *Sida crystallina*. Осенью основу биомассы кладоцер составляют *Daphnia galeata*, *D. longispina*, *Bosmina coregoni*. Доля копепоид в численности и биомассе зоопланктона максимальна весной, когда регистрируется высокое обилие молоди. В летне-осенний период относительное обилие циклопов снижается. Наибольшая численность и биомасса характерны для *Eudiaptomus gracilis*, *Mesocyclops leuckarti*.

Сезонная динамика зоопланктона Шекснинского водохранилища в первые годы после его создания характеризовалась двумя максимума биомассы в начале и конце лета [Луферова, 1966 (Luferova, 1966)]. В 1976 г. увеличение биомассы зоопланктона было зарегистрировано также в середине осени [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981)]. К сожалению, в 2016–2020 гг. исследований водоема в начале лета не проводилось. Проследить изменения обилия зоопланктона в течение лета можно лишь по данным 2017 г., когда исследования речной части водохранилища проводились в июле и августе. В июле 2017 г. средняя биомасса зоопланктона этого участка водохранилища составляла 1.1 г/м<sup>3</sup>, а в августе – 0.5 г/м<sup>3</sup>. В оз. Белое в начале октября, как правило, не регистрируется значительного, по сравнению с летней, снижения биомассы зоопланктона. Таким образом, для зоопланктона Шекснинского водохранилища характерны, как ми-

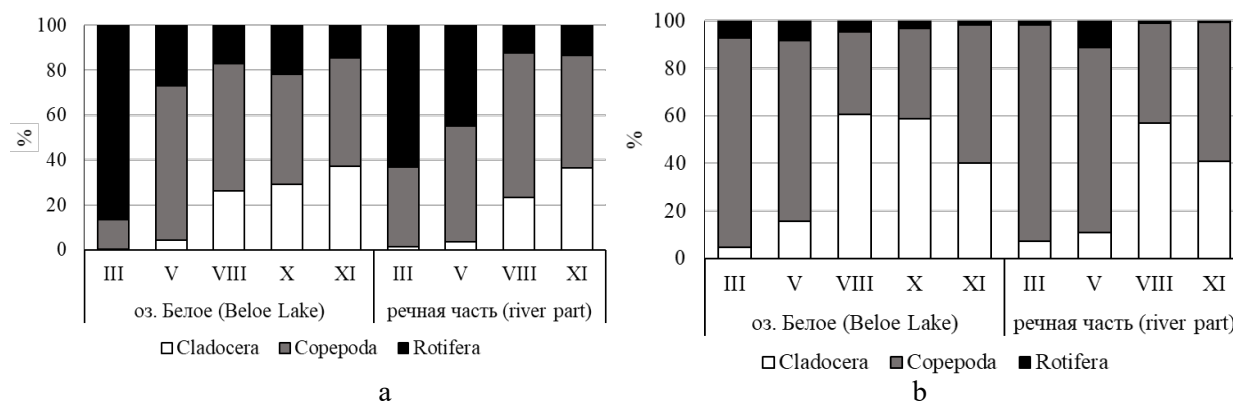
нимум, два максимума биомассы (летний и осенний). При этом пик биомассы регистрируется во второй половине лета. Сходная сезон-

ная динамика биомассы зоопланктона характерна для Рыбинского водохранилища [Лазарева, 2010 (Lazareva, 2010)].



**Рис. 5.** Средние численность (а) и биомасса (б) зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в разные сезоны года (2016–2020 гг.). Обозначения аналогичны рис. 2.

**Fig. 5.** The average values of the density (a) and biomass (b) of zooplankton in different parts of the Sheksna reservoir (2016–2020). Notation is similar to the fig. 2.



**Рис. 6.** Относительная численность (а) и биомасса (б) основных групп зоопланктона разных участков Шекснинского водохранилища в разные сезоны года (2016–2020 гг.). Обозначения аналогичны рис. 2.

**Fig. 6.** Relative abundance (a) and biomass (b) of main groups of zooplankton in different parts of the Sheksna reservoir (2016–2020). Notation is similar to the fig. 2.

Обилие зоопланктона варьирует в разные годы [Думнич, Крылов, 2002 (Dumnich, Krylov, 2002); Лазарева и др., 2013 (Lazareva et al., 2013)]. Численность и биомасса зоопланктона в марте 2016–2020 гг. близки к регистрируемым в 1973, 1977 и 1981 гг. [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981); Ривьер, 2012 (Riviere, 2012)]. В летний период 2016–2020 гг. численность зоопланктона на всей акватории водоема была ниже, чем в 2005 и 2007 гг. [Лазарева и др., 2013 (Lazareva et al., 2013)]. Биомасса зоопланктона оз. Белое в анализируемый период была ниже, чем в 2005 и 2007 гг. ( $2.6 \pm 0.43$  и  $1.7 \pm 0.18$  г/м<sup>3</sup>). Биомасса зоопланктона речной части водохранилища в среднем за 2016–2020 гг. близка к таковой в 2007 г. ( $1.42 \pm 0.21$ ), но ниже среднего значения

в 2005 г. ( $2.84 \pm 0.38$ ). Средняя численность летнего зоопланктона водохранилища в 2016–2020 гг. была сходна с таковой ( $66.5$  тыс. экз/м<sup>3</sup>) в 1962 г. и 1970-е годы [Пидгайко, 1969 (Pidgayko, 1969); Литвин, 1978 (Litvin, 1978); Пихтова, 1981 (Pikhtova, 1981)]. Значения биомассы в анализируемый период и 1970-е гг. также сопоставимы [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981); Думнич, Крылов, 2002 (Dumnich, Krylov, 2002)].

В конце сентября – октябре в анализируемый период в озерной части водохранилища численность и биомасса зоопланктона сопоставима с таковыми, начиная с 2007 г. В конце 1990-х – начале 2000-х гг. регистрировалось снижение обилия зоопланктона в водоеме в этот период [Думнич, Лобуничева,

2016 (Dumnich, Lobunicheva, 2016)]. В октябре 1976 г. при температуре 1°C биомасса зоопланктона озера составляла 0.5 г/м<sup>3</sup> [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al., 1981)]. В 2016–2020 гг. подобного резкого снижения температур не регистрировалось. Средняя температура воды в октябре 2016–2020 гг. составляла 9.4±0.70, а средняя биомасса зоопланктона – 0.9±0.29 г/м<sup>3</sup>.

Структура зоопланктона Шекснинского водохранилища сформировалась уже в первый год после его создания [Луферова, 1966 (Luferova, 1966)] и относительно стабильна, несмотря на межгодовые колебания обилия [Думнич, Лобуничева, 2016 (Dumnich, Lobunicheva, 2016)]. Наибольшими встречаемостью и обилием характеризуются виды, свойственные водоемам с замедленным водообменом. В зимний период в сообществе во все периоды наблюдений преобладали коловратки и веслоногие ракообразные. Доминирование копепоид, в частности каляниды *Eudiaptomus gracilis*, отмечалось в марте 1973 г. [Смирнова и др., 1981 (Smirnova et al.,

1981)]. В марте 1977 и 1981 гг., как и в 2016–2020 гг., в сообществе преобладали коловратки (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *K. quadrata*, *K. hiemalis*) [Ривьер, 2012 (Riviere, 2012)]. Отмечаемые ранее в составе зимнего зоопланктона кладоцеры *Bosmina coregoni*, *Chydorus sphaericus* и виды рода *Daphnia* регистрировались в сборах последних лет не каждый год и единичными экземплярами.

Состав и относительная численность доминантов зоопланктона в августе 2016–2020 гг. были практически идентичны таковым в 2005, 2007 гг. [Лазарева и др., 2013 (Lazareva et al., 2013)]. Отличия свойственны речному участку водохранилища, где из набора доминантных видов выпали *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*. Кроме того, на всей акватории водохранилища в августе 2016–2020 гг. доминировала *Keratella cochlearis*, хотя ее численность была ниже других коловраток-доминантов (*Kellicottia longispina*, *Conochilus unicornis*, *Polyarthra* sp.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для зоопланктона Шекснинского водохранилища характерны сезонные изменения состава, структуры и обилия. Зоопланктон разных участков водоема сходен по составу. Максимальное видовое богатство регистрируется в летний период. Видовое богатство зоопланктона в речной части водохранилища несколько выше благодаря фитофильным видам.

Высокой встречаемостью в водоеме характеризуются порядка 20 видов. Из них половина часто встречается на протяжении всего периода открытой воды. В подледный период в водохранилище регистрируются преимущественно криофильные коловратки. Летом увеличивается разнообразие и встречаемость кладоцер.

Структура доминантного комплекса зоопланктона в отдельные сезоны года сходна

на разных участках водохранилища. При этом сходство комплекса доминантов в разные сезоны низкое. Наиболее специфично соотношение доминантов зоопланктона весной в речной части водохранилища.

Величины и сезонная динамика средних численности, биомассы и соотношение основных групп зоопланктона в разных частях водохранилища сходны. Различия проявляются в обилии отдельных видов. Максимальное развитие зоопланктеров закономерно наблюдается в летний период. Наибольшие отличия обилия зоопланктона озерного и речного участков проявляются весной, когда выражены различия температуры воды.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 076-00002-21-01.

Авторы благодарны сотрудникам Вологодского филиала ФГБНУ “ВНИРО” за огромную помощь в сборе полевого материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балушкина Е.В., Винберг ГГ. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., ЗИН АН СССР, 1979. С. 58–79.
- Думнич Н.В. Изменение состояния зоопланктона оз. Белого за двадцатилетний период // Проблемы экологии, биоразнообразия и охраны прибрежно-водных и водных экосистем: тез. докл. X Всерос. конф. молодых ученых. Борок, 1997. С. 30–32.
- Думнич Н.В., Крылов А.В. Зоопланктон // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль, 2002. С. 120–146.
- Думнич Н.В., Лобуничева Е.В. Динамика зоопланктона озерной части Шекснинского водохранилища (Вологодская область) // Современное состояние биоресурсов внутренних водоемов и пути их рационального ис-

- пользования: Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 85-летию Татарского отделения ГосНИОРХ (Казань, 24–29 октября 2016 г.). Казань, 2016. С. 338–349.
- Думнич Н.В., Лобуничева Е.В. Пространственное распределение осеннего зоопланктона озера Белого (Вологодская область) // Междунар. конф. “Актуальные проблемы планктологии”. Тез. докл. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2012. С. 38–39.
- Ивантер Э.В., Коросов А.В. Элементарная биометрия. Учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.
- Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синев А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2021. 544 с.
- Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Raedotrochida). Л.: Наука. 1970. 744 с.
- Лазарева В.И. Распространение и особенности натурализации новых и редких видов зоопланктона в водоемах Верхней Волги в начале XXI века // Биология внутр. вод. 2008. №1. С. 81–88.
- Лазарева В.И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2010. 183 с.
- Лазарева В.И., Столбунова В.Н., Минеева Н.М., Жданова С.М. Особенности структуры и пространственное распределение планктона в Шекснинском водохранилище // Биол. внутр. вод. 2013. №3. С. 46–55.
- Литвин А.И. О зоопланктоне Череповецкого водохранилища // Биологические ресурсы водоемов Вологодской области, их охрана и рациональное использование: Тезисы к науч.-практ. конф. Вологда, 1978. С. 29–31.
- Литвин А.И. Сезонные изменения в зоопланктоне озера Обручевского (Вологодская область) // Проблемы рыбохозяйственных исследований внутренних водоемов Северо-Запада Европейской части СССР. Тез. докл. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Петрозаводск, 1984. С. 44–45.
- Литвинов А.С. Общие сведения о водохранилище // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль, 2002. С. 5–9.
- Литвинов А.С., Рошупко В.Ф. Особенности термического режима // Современное состояние экосистемы Шекснинского водохранилища. Ярославль, 2002. С. 27–34.
- Луферова Л.А. Формирование зоопланктона Череповецкого водохранилища // Планктон и бентос внутренних водоемов. Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 12 (15). М.-Л.: Наука, 1966. С. 68–74.
- Макаренкова Н.Н. “Цветение” воды как показатель современного состояния фитопланктона озера Белого Вологодской области // Рыбохозяйственные водоемы России: фундаментальные и прикладные исследования. Материалы II Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Санкт-Петербург, 2–4 апреля 2018 г.). С. 252–256.
- Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.-Л., 1964. 327 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1982. 33 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Пидгайко М.Л. Зоопланктон Белого озера в связи с рыбохозяйственным значением водоема // Вопросы рыбного хозяйства на внутренних водоемах СССР. Изв. ГосНИОРХ. Л., 1969. Т.65. С.111–120.
- Пихтова Т.С. Количественная оценка трофических связей между зоопланктоном и рыбами-планктофагами в озере Белом (Вологодская область) // Основы изучения пресноводных экосистем. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1981. С.35–38.
- Ривьер И.К. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А., 2012. 390 с.
- Ривьер И.К., Литвинов А.С. Сравнительный анализ зоопланктона Шекснинского водохранилища в 1987 и 2001 гг. // Вод. ресурсы. 2006. Т. 33. №5. С. 615–629.
- Смирнова Т.С., Ривьер И.К., Пихтова Т.С. Зоопланктон // Антропогенное влияние на крупные озера Северо-Запада СССР. Гидробиология и донные отложения озера Белого. Л.: Наука, 1981. Ч. 2. С. 77–99.
- Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers // Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol. 1977. Bd. 8. P. 71–78.

## REFERENCES

- Balushkina E.V., Vinberg G.G. The relationship between the length and body weight of planktonic crustaceans. *Ekspierimental'nyye i polevyye issledovaniya biolo-gicheskikh osnov produktivnosti ozer* [Experimental and field studies of the biological foundations of lake productivity]. Leningrad, ZIN AN SSSR, 1979, pp. 58–79. (In Russian)
- Dumnich N.V. Changes in the state of zooplankton of the Beloe lake for twenty years. *Problemy ekologii, bioraznoobraziya i ohrany pribrezhno-vodnyh i vodnyh ekosistem: tez. dokl. X Vseros. konf. molodyh uchenykh* [Problems of ecology, biodiversity and protection of coastal water and aquatic ecosystems: abstracts report X All-Russia. conf. young scientists]. Borok, 1997, pp. 30–32. (In Russian)
- Dumnich N.V., Krylov A.V. Zooplankton. *Sovremennoe sostoyanie ekosistemy Sheksninskogo vodohranilishcha* [The current state of the ecosystem of the Sheksna reservoir]. Yaroslavl, Izd-vo Yaroslavskogo gos. tekhn. un-ta, 2002. pp. 120–146. (In Russian)



- Dumnich N.V., Lobunicheva E.V. Dynamics of zooplankton in the lake part of the Sheksna reservoir (Vologda region). *Sovremennoe sostoyanie bioresursov vnutrennih vodoyomov i puti ih racional'nogo ispol'zovaniya: Materialy dokladov vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashchennoj 85-letiyu Tatarskogo otdeleniya GosNIORH (Kazan', 24–29 oktyabrya 2016 g.)* [The current state of bioresources of inland waters and ways of their rational use: Mat. of reports of the all-Russian conf. with int. participation, dedicated to the 85th anniversary of the Tatar branch of GosNIORKh (Kazan, October 24–29, 2016)]. Kazan, 2016, pp. 338–349. (In Russian)
- Dumnich N.V., Lobunicheva E.V. Spatial distribution of autumn zooplankton in Lake Beloye (Vologda region). *Mezhdunar. konf. "Aktual'nye problemy planktologii". Tez. dokl.* [Int. conf. "Frontiers in Plankton Research". Abstracts]. Kaliningrad: Issued by AtlantNIRO, 2012, pp. 38–39. (In Russian)
- Ivanter E.V., Korosov A.V. Elementary biometrics: Tutorial. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 2010. 104 p. (In Russian)
- Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Sinev A.Yu., Neretina A.N., Garibyan P.G. Cladocera (Crustacea: Cladocera) of Northern Eurasia. Vol. II. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 2021. 544 p. (In Russian)
- Kutikova L.A. Rotifera fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria (orders Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Leningrad, Nauka, 1970. 744 p. (In Russian)
- Lazareva V.I. New and rare zooplankton species expansion and particular features of their naturalization in waterbodies of the upper Volga Basin. *Inland Water Biology*. 2008, №1, pp. 81–88. (In Russian)
- Lazareva V.I. Zooplankton structure and dynamics in the Rybinsk Reservoir. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 2010. 183 p. (In Russian)
- Lazareva V.I., Stolbunova V.N., Mineeva N.M., Zhdanova S.M. Features of the structure and spatial distribution of plankton in the Sheksna reservoir. *Inland Waters Biology*, 2013, №3, pp. 211–219. doi: 10.7868/S0320965213030091 (In Russian)
- Litvin A.I. About the zooplankton of the Cherepovets reservoir. *Biologicheskie resursy vodoemov Vologodskoj oblasti, ih ohrana i racional'noe ispol'zovanie: Tez. k nauch.-prakt. konf.* [Biological resources of reservoirs of the Vologda region, their protection and rational use: Abstracts to the scientific-practical. conf.]. Vologda, 1978, pp. 29–31. (In Russian)
- Litvin A.I. Seasonal changes in the zooplankton of Lake Obruchevskoe (Vologda Region). *Problemy rybohozyajstvennyh issledovaniy vnutrennih vodoemov Severo-Zapada Evropejskoj chasti SSSR. Tez. dokl. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenykh i specialistov* [Problems of fishery studies of inland waters in the North-West of the European part of the USSR. Tez. report scientific-practical. conf. young scientists and specialists]. Petrozavodsk, 1984, pp. 44–45. (In Russian)
- Litvinov A.S. General information about the reservoir. *Sovremennoe sostoyanie ekosistemy Sheksninskogo vodohranilishcha* [The current state of the ecosystem of the Sheksna reservoir]. Yaroslavl, Izd-vo Yaroslavl'skogo gos. tekhn. un-ta, 2002. pp. 5–9. (In Russian)
- Litvinov A.S., Roshchupko V.F. Features of the thermal regime. *Sovremennoe sostoyanie ekosistemy Sheksninskogo vodohranilishcha* [The current state of the ecosystem of the Sheksna reservoir]. Yaroslavl, Izd-vo Yaroslavl'skogo gos. tekhn. un-ta, 2002. pp. 27–34. (In Russian)
- Luferova L.A. Formation of zooplankton in the Cherepovets reservoir. *Plankton and benthos of inland waters. Transactions of Institute for Biology of Inland Waters AS USSR*, 1966, Issue. 12(15), pp. 68–74. (In Russian)
- Makarenkova N.N. "Blossoming" of water as an indicator of the current state of phytoplankton in Lake Beloye, Vologda Region. *Rybohozyajstvennye vodoyomy Rossii: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya. Materialy II Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem (Sankt-Peterburg, 2–4 aprelya 2018 g.)* [Fishery reservoirs of Russia: fundamental and applied research. Materials II All-Russian. scientific conf. with international participation (St. Petersburg, April 2–4, 2018)]. Pp. 252–256. (In Russian)
- Manujlova E.F. Cladocera of fauna SSSR. Moscow–Leningrad, 1964. 327 p. (In Russian)
- Metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh [Methodological recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs]. *Zooplankton i ego produkcija* [Zooplankton and its products]. Leningrad, 1982. 33 p. (In Russian)
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropejskoj Rossii. T. 1. Zooplankton [Identification guide to zooplankton and zoobenthos of freshwater bodies of European Russia. Vol. 1. Zooplankton]. Moscow, Tovarischestvo nauchnykh izdanij KMK, 2010. 495 p. (In Russian)
- Pesenko Yu.A. Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies. Moscow, Nauka, 1982. 287 p. (In Russian)
- Pidgayko M.L. Zooplankton of the Lake Beloye in connection with the fishery significance of the reservoir. *Problems of fisheries in the internal water bodies of the USSR. Izv. GosNIORH, L.*, 1969, vol. 65, pp. 111–120. (In Russian)
- Pikhtova T.S. Quantitative assessment of trophic relationships between zooplankton and plankton-eating fish in Lake Beloye (Vologda region). *Osnovy izucheniya presnovodnykh ekosistem* [Fundamentals of the study of freshwater ecosystems]. L.: Publishing house ZIN AS USSR, 1981, pp. 35–38. (In Russian)
- Riviere I.K. Cold-water zooplankton of the lakes of the Upper Volga basin. Izhevsk: Publisher Permyakov S.A., 2012. 390 p. (In Russian)
- Riviere I.K., Litvinov A.S. Comparative analysis of the zooplankton of the Sheksna reservoir in 1987 and 2001. *Water resources*, 2006, vol. 33, no. 5, pp. 615–629. (In Russian)

- Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Arch. Hydrobiol. Ergebn. Limnol.*, 1977, bd. 8, pp. 71–78.
- Smirnova T.S., Riviere I.K., Pikhtova T.S. Zooplankton. Antropogennoe vliyanie na krupnye ozera Severo-Zapada SSSR [Anthropogenic influence on large lakes of the North-West of the USSR]. Hydrobiology and bottom sediments of Lake Beloye. L., Nauka, 1981. P. 2, pp. 77–99. (In Russian)

## SEASONAL DYNAMICS OF ZOOPLANKTON OF THE SHEKSNA RESERVOIR (VOLOGDA REGION)

**E. V. Lobunicheva, A. I. Litvin, N. V. Dumnich**

*Vologda branch of the Federal State Budget Scientific Institution "Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography"*

*Vologda, 160012, Russia, e-mail: lobunicheva\_ekaterina@mail.ru*

Revised 18.01.2022

The paper analyzes the seasonal dynamics of the composition, structure, and abundance of zooplankton in different parts of the Sheksna Reservoir in 2016–2020. The zooplankton in the reservoir includes 107 species (Rotifera – 41, Cladocera – 41, Copepoda – 25). The authors have found 88 species in Lake Beloye and 90 species in the river part of the reservoir. 7 species in the lake and 17 in the river part of the reservoir have been found for the first time. The communities of different parts of the reservoir are similar in terms of zooplankton composition (76%). The highest level of dominance (0.32–0.38) of zooplankton is observed during the ice period. In Lake Beloye, this figure is higher than in the river part of the reservoir. A small set of species (*Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Eudiaptomus gracilis*) is characterized by high density in all seasons of the year. Some species are dominant only in certain periods. In summer, rotifers of the genus *Polyarthra* and *Mesocyclops leuckarti* dominate the entire water area of the reservoir. Lake Beloye is dominated by *Daphnia galeata* and *Chydorus sphaericus* in summer. The composition of the dominant zooplankton complex in different parts of the reservoir is similar in certain seasons. Only in May, the structure of the dominant complex of the lake and river sections of the reservoir differs. The ratio of dominants in Lake Beloye in May is similar to the ice period. The maximum abundance of zooplankton in the reservoir is recorded in summer. From May to November the largest number of copepods is observed. In March, rotifers dominate. Cladocera were noted as dominants only in the lake part of the reservoir. The seasonal dynamics of the structure and abundance of zooplankton generally corresponds to those in the 1970s and early 2000s.

**Keywords:** zooplankton, seasonal dynamics, Sheksna reservoir, seasons, composition, structure, dominants, abundance, biomass



## Водные биоресурсы

УДК 574.58

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЦИСТ ЖАБРОНОГО РАЧКА *ARTEMIA* В СОСТАВЕ ГРУНТОВ ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР КУЧУКСКОЕ И БОЛЬШОЕ ЯРОВОЕ

Г. В. Лукерина

Алтайский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("АлтайНИРО")

656056, г. Барнаул, пл. Баварина, 2, оф. 502-513, e-mail: artemiaalt@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2022

В работе представлены результаты исследований, проведенных в 2020 году на озерах Кучукское и Большое Яровое Алтайского края. Озера отличаются гидрологическим режимом, гидрохимическим составом, сезонными и многолетними циклами изменения уровня солености воды. В оз. Кучукское основную роль в формировании рачков первого поколения в весенний период играют цисты из скоплений на берегу, смываемые стоком талых вод. Донные цисты малодоступны из-за высокой солености воды и выпадения солевого осадка на значительной площади водоема. Жизнеспособность цист с мелководных участков дна в весенний период составляла 8.9%. Расчет биомассы донных цист без учета особенностей соленонакопления в водоеме и выклева из них науплиусов приводит к завышению показателя на 84–92%. Глубоководность озера Большое Яровое обуславливает особенности температурного режима в весенне-летний период, что препятствует всплытию цист артемии со дна с глубин более 7.0 м. Значительные иловые отложения на дне озера – агрессивная среда для цист, что доказано присутствием разнокачественных цист, включая с поврежденной внешней оболочкой, а также неестественной окраской хориона (черной или серой). Жизнеспособность донных цист из озера Большое Яровое не превышает в среднем 15%, непродуктивно всплывшие цисты оседают вновь на дно в летний период.

**Ключевые слова:** артемия, гипергалинные озера, типы грунтов, диапаузирующие яйца, донные цисты артемии, выклев.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-33-49

#### ВВЕДЕНИЕ

Диапаузирующие толстоскорлуповые яйца (цисты) рачка *Artemia* Leach, 1819 являются признанным стартовым кормом и широко используются в аквакультуре. Большой экономический спрос на данный биоресурс обусловил повышенный интерес к изучению биоты гипергалинных озер, и, в первую очередь, к продуктивности популяций артемии в разнотипных водоемах. Действующая в настоящее время методика определения общего и промыслового запасов артемии (на стадии цист) включает ряд показателей, одним из которых является учет бентосных цист [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. Однако цисты артемии нельзя считать в полной мере бентосными организмами, приспособленными к жизни на дне [Жадин, 1950 (Zhadin, 1950); Константинов, 1979 (Konstantinov, 1979)]. Поэтому в данной работе принят термин "донные цисты", под которым подразумевается биомасса цист артемии, содержащихся на поверхности и в толще грунтов.

Несмотря на многолетнюю историю изучения гипергалинных водоемов и их биоты по всему миру, особенности накопления и хранения цист артемии в условиях донных отложений, возможность их всплытия и жизне-

способность остаются неизученными. В научных публикациях отмечают значительную численность донных цист и огромную вариацию этого показателя в пространстве и времени [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Визер, Ростовцев, 2016 (Vizer, Rostovcev, 2016); Семик, Ушакова, 2017 (Semik, Ushakova, 2017); Литвиненко и др., 2018 (Litvinenko et al., 2018); Литвиненко и др., 2020 (Litvinenko et al., 2020)]. С начала исследований (2000 г.) и по настоящее время основным направлением изучения было определение численности цист в пробах грунта и экстраполяция среднего значения на всю площадь водоема [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Литвиненко и др., 2018 (Litvinenko et al., 2018)]. При этом подходе многие аспекты остаются неизученными: зависимость численности цист от типа грунта и глубины залегания, влияние степени развития литорали (включая омываемое и затопляемое побережье) на распределение донных цист, особенности добычи (вылова) артемии (на стадии цист) на водоеме. Наиболее важным показателем является жизнеспособность донных цист в условиях водоема в зимний период и при действии неблагоприятных факторов среды.

Исследования состояния запасов донных цист артемии в гипергалинных озерах Алтайского края находятся на начальном этапе. Целью работы была оценка роли донных цист в формировании первого поколения рачков артемии, а также их фактический запас. В связи с этим были поставлены и решены следующие задачи:

изучить типы грунтов на разных глубинах разнотипных гипергалинных водоемов; определить численность цист артемии в составе разнотипных грунтов; определить жизнеспособность донных цист артемии в лабораторных условиях.

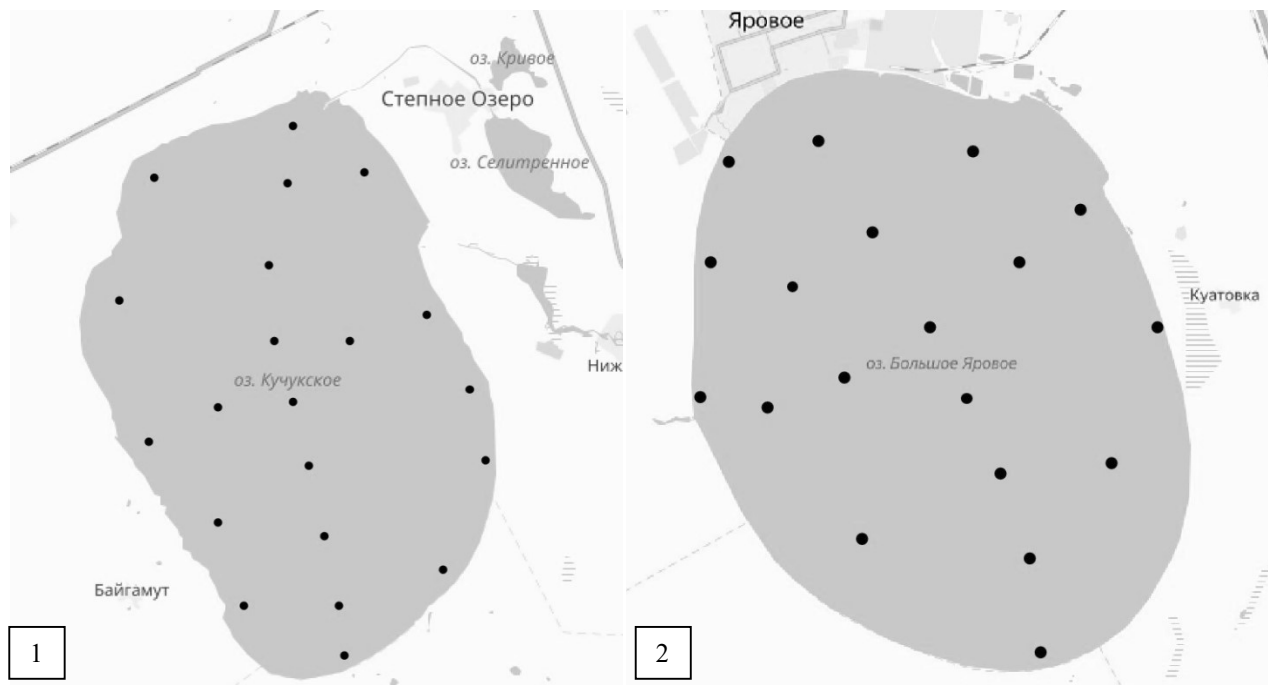
## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом послужили данные, отобранные в вегетационный период 2020 г. в ходе проведения мониторинга гипергалинных водоемов Алтайского края, на примере озер Кучукское и Большое Яровое. Также были использованы архивные материалы по уровню солености воды из базы данных “АлтайНИРО” за 2010–2019 гг.

Гидробиологические съемки в 2020 году с помощью маломерного моторного судна проводили в апреле, июне–сентябре ежемесячно. В октябре исследования на оз. Большое Яровое осуществляли также с помощью моторной лодки, на оз. Кучукское – на мелководных участках при объезде на автомобиле, так как на всей площади озера наблюдался солевой осадок. Для каждого водоема разработана схема станций отбора проб, которые определяли на местности при помощи GPS-навигатора “Navitel C500” (Чехия) (рис. 1). Количество

станций зависело от формы котловины, площади водоема, коэффициента развития береговой линии, разнообразия биотопов [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)].

Морфометрические характеристики озер, включая основные коэффициенты [Верещагин, 1930 (Vereshchagin, 1930); Иванов, 1948 (Ivanov, 1948); Богословский, 1960 (Bogoslovskij, 1960)], были рассчитаны на основе собственных полученных данных, а также измерений по спутниковым картам при помощи “Калькулятора для расчета площадей, длины и расстояния” [<http://3planeta>]. Преобладающие направления ветра (“роза ветров”) определены по данным Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ЦГМС) по метеопосту г. Славгород.



**Рис. 1.** Схема станций отбора проб и фенологических наблюдений, 2020 г. 1 – оз. Кучукское; 2 – оз. Большое Яровое.

**Fig. 1.** Scheme of sampling stations and phenological observations, 2020. 1 – Kuchuk Lake; 2 – Bolshoe Yarovoe Lake.

На каждой станции проводили следующие измерения: глубина (при помощи лота с храпом на размеченном шнуре); температура

воды и содержание растворенного в воде кислорода (с помощью термооксиметра “Эксперт-001-4.01” (Россия)) в поверхностном и

придонных слоях; прозрачность воды (с помощью диска Секки); соленость воды (с помощью рефрактометра “Atago Master-S28 M” (Япония)) в поверхностном слое (на глубине не менее 0.2 м), а также в придонных слоях.

Пробы зоопланктона и воды на гидрохимический состав отбирали и обрабатывали в соответствии с методикой [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. В 2020 г. было отобрано и обработано: 8 гидрохимических проб и 152 пробы зоопланктона с оз. Кучукское; 6 гидрохимических и 215 зоопланктона – с оз. Большое Яровое.

Для изучения донных цист пробы грунта на оз. Кучукское отбирали дночерпателем Петерсена (Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup> и трубчатым штанговым дночерпателем (“ДТШ”, Россия) с площадью захвата 0.005 м<sup>2</sup>. Применение стратификационного дночерпателя (“ДЧС-250”, Россия) на оз. Кучукское, характеризующегося значительными солевыми отложениями, оказалось невозможным из-за плотности грунта.

На оз. Большое Яровое грунт отбирали дночерпателем Петерсена (Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>, в осенний период дополнительно стратификационным дночерпателем (“ДЧС-250”, Россия) с площадью захвата 0.025 м<sup>2</sup>. Для оз. Большое Яровое, со средней глубиной 4.5 м, не использовали “ДТШ”, имеющего длину штанги 3.0 м.

Определяли тип грунта и промывали пробу в мешке из газового сита № 46, который снабжали этикеткой с указанием даты отбора, названия водоема, номера станции, глубины отбора, части пробы (для “ДЧС-250”).

Обработку проб проводили согласно методикам [Киселев, 1969 (Kiselev, 1969); Инструкция по использованию..., 2000 (Instrukciya po ispol'zovaniyu..., 2000); Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Manual for the culture..., 1986], со следующими дополнениями, разработанными специалистами “АлтайНИРО”:

1. Пробы транспортировали в мешочках из газового сита, в которых их промывали, что позволяет избежать потерь мягкого, илистого грунта, а также подсушить пробу на воздухе.

2. В лабораторных условиях пробы хранили в холодильнике при температуре 4–6°C для обеспечения сохранения жизнеспособности цист артемии, содержащихся в пробе.

3. Пробы с большим содержанием песка, соли, глины, растительного детрита взвешивали на электронных весах “CAS SWN-06” (Южная Корея) с дискретностью показаний

0.01 г. Навеску, массой 1 г, взвешанную на электронных весах “Metler Toledo” (Германия) с дискретностью показаний 0.0001 г, разбавляли водой и просчитывали объекты в камере Богорова под тринокулярным стереоскопическим микроскопом “Микромед МС-2 ZOOM” (Россия). Навеску отбирали от 3 до 10 раз, в зависимости от массы пробы.

4. Пробы с высоким содержанием илов промывали в мешочке из газового сита до минимального объема, помещали полностью в мерный стакан и разбавляли водой до определенного объема. Тщательно перемешивали и штемпель-пипеткой отбирали 1 мл в 7–10 повторностях. Обрабатывали аналогично.

5. При количественной обработке проб просчитывали все цисты артемии. Отмечали повреждения, особенности поверхности хориона (структура, цвет), внутреннее содержимое при надавливании, присутствие скорлупы цист.

6. При расчетах численности учитывались только внешне-полноценные цисты.

7. При применении дночерпателей разной конструкции на оз. Кучукское, для сопоставления полученных данных, применяли относительные показатели численности донных цист – количество в 1 грамме грунта.

8. При применении “ДЧС-250” рассчитывали плотность цист на 1 м<sup>3</sup>, так как средние и нижняя секции дночерпателя имеют разный объем.

Всего отобрано и обработано 80 проб грунта с оз. Кучукское и 93 – с оз. Большое Яровое. Расчет биомассы цист артемии, находящихся на дне, проводили по приведенной в методике формуле [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]:

$$W_3 = N_3 \times S \times m,$$

где:  $N_3$  – численность донных цист артемии, экз./м<sup>2</sup>;

$S$  – площадь озера, м<sup>2</sup>;

$m$  – средняя масса цисты в тоннах сырой массы,  $1 \times 10^{-1}$  т.

Наибольшую сложность вызвало определение выклева науплиусов из донных цист. Под выклевом понимают полное освобождение эмбриона от оболочек цисты и появление свободноплавающей личинки рачка [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019); Manual for the culture..., 1986; Van Stappen, 1996]. Необходимо было изучить выживаемость эмбрионов в донных цистах в условиях водоема. Большинство разработанных и общепринятых

методик инкубации цист направлены на получение максимального результата [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Manual for the culture..., 1986], что не отражает выклев в естественных условиях водоема.

Для проведения инкубации, образцы цист артемии получали путем вымывания достаточного их количества из проб, последовательно отделяя тяжелые и легкие примеси водным раствором NaCl (220 г/кг) и пресной водой.

В рамках выполнения данной работы инкубацию цист артемии, отобранных в весенний период в озерах Кучукское и Большое Яровое проводили при оптимальных условиях, описанных в литературе [Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Клепиков, 2012 (Klepikov, 2012); Manual for the culture..., 1986]. В работе использовали конусообразные стеклянные цилиндры, в которых непрерывная аэрация осуществляется со дна, температура инкубации составляла 25–29°C, соленость 30.0–35.0 г/л, pH – на уровне 8, освещенность – 1000 лк, концентрация сырых цист составляла 4.0 г на 1 л инкубационного раствора. Инкубацию цист из оз. Большое Яровое, ото-

бранных в осенний период, проводили в следующих инкубационных растворах:

- водный раствор NaCl (20–30 г/кг; условное обозначение “лаб. р-р”);
- материнская рапа с природной соленостью (150–160 г/кг; условное обозначение “рапа”);
- материнская рапа, разведенная пресной водой (60–70 г/кг; условное обозначение “0.5 рапа”);
- материнская рапа, разведенная до уровня 25–30 г/кг (условное обозначение “0.25 рапа”).

Прочие условия инкубации соответствовали оптимальным.

Одновременно проводили инкубацию для образцов цист из толщи воды и с ее поверхности, донных цист из верхних горизонтов грунта и из толщи иловых отложений более 20 см. Всего в инкубаторе находилось 32 стеклянных конуса. Время экспозиции составляло 24, 48, 72 и 168 часов. Фракция составляла 1 мл, которую отбирали механической штемпель-пипеткой в четырех повторностях, фиксировали спиртовым раствором йода. Под тринокулярным микроскопом “Микромед МС-2 ZOOM” просчитывали количество науплиусов и эмбрионов, а также непроросшихся цист.

Математический анализ проводили с помощью MS Excel (2016).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованные в 2020 г. озера Кучукское и Большое Яровое расположены на территории Кулундинской равнины [Водоемы Алтайского края..., 1999 (Vodoemy Altajskogo kraja..., 1999)]. Озера имеют округлую, вытянутую с севера на юг форму котловины, коэффициенты развития береговой линии близки к 1 (табл. 1). Озеро Кучукское характеризуется как мелководный, самосадочный водоем с низкими показателями коэффициентов глубинности и емкости, что в совокупности с коэффициентом открытости косвенно указывает на большую перемешиваемость водных масс и отсутствие различий физико-химических показателей в поверхностном и придонных слоях. Это подтверждается однородностью показателей температуры и солености воды по акватории озера.

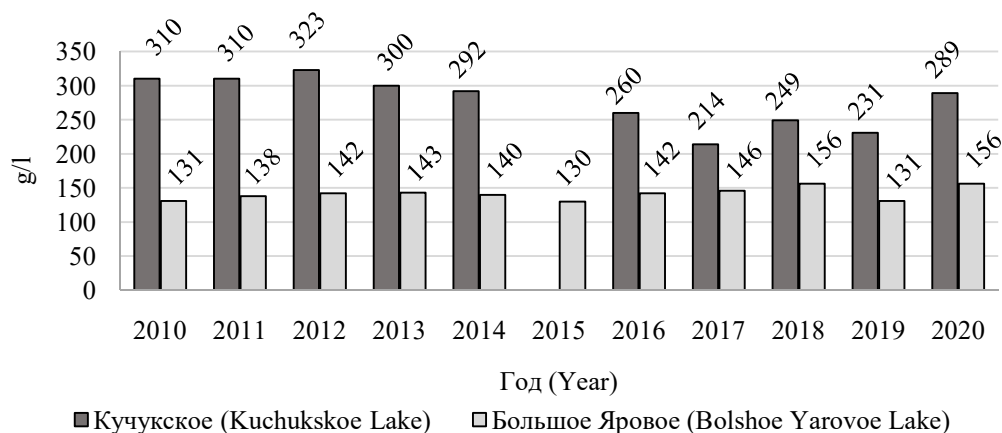
Озеро Большое Яровое относится к глубоководным среди гипергалинных водоемов России. В сравнении с оз. Кучукское Большое Яровое имеет значительно меньший коэффициент открытости, и больший – глубинности, что указывает на меньшую перемешиваемость

водных масс. Согласно литературным [Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Пермькова, 2012 (Permyakova, 2012); Веснина, Пермькова, 2013 (Vesnina, Permyakova, 2013)] и собственным данным, в озере отмечается весенняя температурная стратификация с термоклином на глубине 6.0–7.0 м. Разница температур между поверхностным и придонным слоями в апреле 2020 г. составляла 8–10°C. В летний период наблюдается относительно равномерное прогревание толщи воды.

По величине солености воды озера Кучукское и Большое Яровое относятся к гипергалинным [Алекин, 1970 (Alekin, 1970)] или ультрагалинным водоемам [Оксиюк, Жукинский, 1993 (Oksiyuk, Zhukinskij, 1993)], вода по химическому составу относится к хлоридно-сульфатному и хлоридному классам группы натрия. Среднегодовая соленость воды самосадочного оз. Кучукское в 2010–2020 гг. изменялась от 214 до 323 г/л, колебания сухого остатка составляло 109 г/л (рис. 2).

**Таблица 1.** Основные характеристики исследованных гипергалинных озер Алтайского края, 2020 г.**Table 1.** Main characteristics of the studied hyperhaline lakes of the Altai Territory, 2020

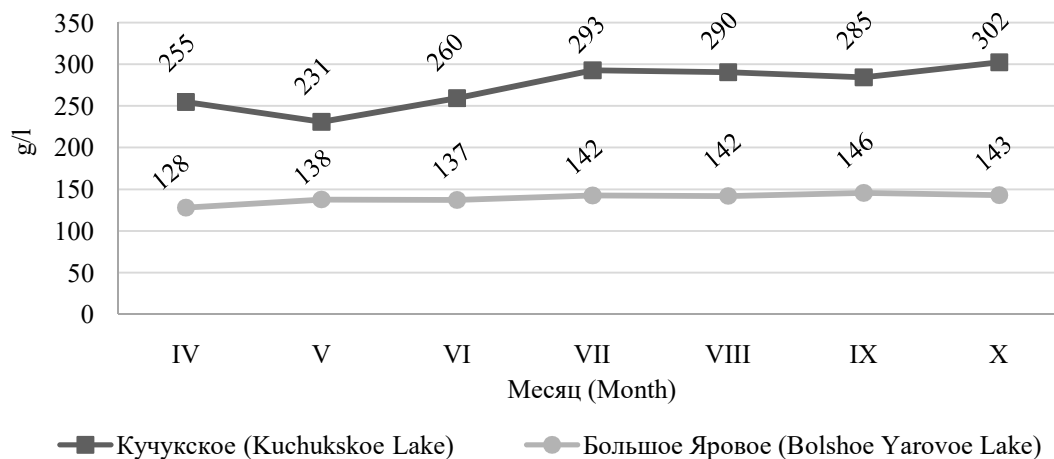
| Показатель<br>Indicator   | Название озера / Name of the lake                                  |  |
|---|--|--|
|   | Кучукское / Kuchukskoe Lake  | Большое Яровое / Bolshoe Yarovoe Lake  |
| Площадь водного зеркала, км <sup>2</sup> / Area, km <sup>2</sup>  | 175.7  | 73.7   |
| Длина озера, км / Length of the lake, km  | 19.6   | 11.5   |
| Максимальная ширина озера, км<br>Maximum width of the lake, km  | 12.5   | 8.0  |
| Коэффициент развития береговой линии<br>Shoreline development coefficient   | 1.10   | 1.03   |
| Максимальная глубина, м<br>Maximum depth, m   | 3.3  | 9.5  |
| Средняя глубина, м / Average depth, m   | 0.9  | 4.5  |
| Коэффициент емкости<br>The coefficient of volume  | 0.27   | 0.47   |
| Коэффициент открытости<br>The coefficient of openness   | 195.2  | 16.3   |
| Коэффициент глубинности<br>The coefficient of depth   | 0.16   | 1.07   |
| Берега<br>Coast   | Пологие заболоченные (70%);<br>высокие обрывистые (30%)            | Крутые, обрывистые,<br>эрозированные (83%);<br>пологие песчаные (17%)                          |
| Питание / Nutrition of the lake   | Атмосферное, выпадают<br>р. Кучук, ручей Солоновка<br>Самосадочное | Атмосферное, грунтовое   |
| Характер накопления солей<br>The nature of salt accumulation  |  | Рапное   |
| Максимальная – минимальная среднегодовая со-<br>леность (2010–2020 гг.), г/л<br>Maximum – minimum average annual salinity<br>(2010–2020), g/l | 214–323  | 130–156  |
| Максимальная – минимальная сезонная соленость<br>(2010–2020 гг.), г/л<br>Maximum – minimum seasonal salinity (2010–2020), g/l                 | 231–302  | 128–146  |
| рН  | 7.71   | 7.89   |
| Категория хозяйственного использования<br>Category of economic use  | Высшая, условно-<br>промысловое                                    | Высшая, промысловое  |
| Температурный режим<br>Temperature regime   | Температурная стагнация  | Весенняя стратификация с тер-<br>моклином на глубине 6.0–7.0 м,<br>в летний период – стагнация |

**Рис. 2.** Годовая многолетняя динамика солености воды (г/л) в гипергалинных озерах Кучукское и Большое Яровое, 2010–2020 гг.**Fig. 2.** Annual long-term dynamics of water salinity in hyperhaline Kuchukskoe Lake and Bolshoe Yarovoe Lake, 2010–2020.

В рапном оз. Большое Яровое, благодаря объему водной массы, среднегодовое значение солености воды в 2010–2020 гг. колебалось в пределах 26 г/л, что может характеризовать гидрохимический режим озера как более стабильный

Для всех минерализованных водоемов Алтайского края характерны сезонные изменения солености воды с минимальным значе-

нием в весенний период. В оз. Кучукское значительный рост солей в рапе отмечается в период наибольшей инсоляции (июнь–июль), сезонное колебание солености в 2010–2020 гг. составляло 71 г/л (рис. 3). В оз. Большое Яровое тренд более пологий, соленость воды от весны к осени возрастает в среднем на 18 г/л и характеризуется большей стабильностью.



**Рис. 3.** Среднемесячная динамика изменения солености воды (г/л) в озерах Кучукское и Большое Яровое, 2010–2020 гг.

**Fig. 3.** Average monthly dynamics of changes in water salinity in Kuchukское Lake and Bolshoe Yarovoe Lake, 2010–2020.

Озера испытывают значительную антропогенную нагрузку. Рапа оз. Кучукское служит сырьем для добычи солей, раз в два года значительный объем воды из озера перекачивают в водоем-испаритель [Веснина, Пермякова, 2011 (Vesnina, Permyakova, 2011)]. На берегу оз. Большое Яровое расположен город Яровое с предприятиями и жилищно-коммунальным комплексом, которые осуществляют забор воды из озера и сброс сточных вод. Озера используются в рекреационных целях с благоустроенными и дикими пляжами. Немаловажной составляющей антропогенного воздействия является добыча артемии (на стадии цист).

Стабильность развития популяций артемии и регулярность промышленного рыболовства в отношении артемии (на стадии цист) обусловлены абиотическими и биотическими условиями. Озеро Большое Яровое относится к промысловым водоемам с регулярным использованием сырьевой базы, оз. Кучукское – к условно-промысловым [Методические рекомендации..., 2019 (Metodicheskie rekomendacii..., 2019)]. Ранее выделяли три категории хозяйственного использования гипергалинных озер [Пермякова, Веснина, 2009 (Permyakova, Vesnina, 2009)], в настоящее вре-

мя все водоемы, в которых обитает артемия, относятся к высшей категории.

#### *Озеро Кучукское*

В апреле (26.04.2020 г.) исследования на оз. Кучукское показали, что на глубине до 1.5 м грунты сложены средне- и мелкодисперсным песком с наилком и растительными остатками (детритом). Мелководные участки топкие, со значительным слоем иловых отложений (черные и серые илы). На глубине более 1.5 м дно водоема покрыто солевым осадком, который не растворяется даже в период весеннего опреснения водоема.

В пробах грунта отмечали внешне-полноценные цисты (65.4% от общего количества), яйца с поврежденным хорионом или без него (29.8%). Также встречали цисты с серой окраской хориона (4.8%), которые были приурочены к илистым грунтам.

В апреле средняя по озеру численность донных цист составляла  $86.7 \pm 48.85$  тыс. экз./м<sup>2</sup> ( $C_v = 251.9\%$ ). На 65% станций (центральная часть озера) цисты отсутствовали, на мелководье колебания численности находились в пределах 22.08–936.72 тыс. экз./м<sup>2</sup>, составляя в среднем  $102.8 \pm 54.50$  тыс. экз./м<sup>2</sup> или  $9.4 \pm 3.25$  экз./г (табл. 2). При этом, численность цист в толще воды в среднем по акватории со-

ставляла  $345.4 \pm 170.37$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, на станциях в южной стороне озера наблюдались скопления с плотностью до 4210.0 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Вылупление и развитие науплиусов первого поколения было более интенсивным на мелководных участках в юго-западной части акватории, где их концентрация составляла от 12.3 до 60.5 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В центральной части озера численность науплиусов не превышала

1.0 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Таким образом, донные цисты под слоем солевого осадка оставались недоступны для всплытия, а основную роль в формировании рачков первого поколения играли скопления цист на берегу и мелководных участках, смываемые талыми водами в озеро. Этот процесс обеспечивал опреснение и гидратацию зимних яиц с последующим выклевом науплиусов.

**Таблица 2.** Показатели относительной численности цист артемии в составе грунтов оз. Кучукское, 2020 г.

**Table 2.** Indicators of the relative number of *Artemia* cysts in the composition of the soils of Kuchukskoe Lake, 2020

| Дата<br>Data | Численность донных цист артемии ( $M \pm m$ , экз./г) на разных глубинах (м)<br>The number of bottom artemia cysts ( $M \pm m$ , ind. /g) at different depths (m) |                   |                    |
|--------------|---|-------------------|--------------------|
|              | 0–1.0   | 1.0–2.0           | более 2.0          |
| 26.04.2020   | $9.4 \pm 3.25$  | 0                 | 0                  |
| 18.06.2020   | $36.8 \pm 20.46$  | 0                 | 0                  |
| 17.07.2020   | $6.5 \pm 5.05$  | $177.9 \pm 82.57$ | $755.0 \pm 419.00$ |
| 18.08.2020   | $0.5 \pm 0.40$  | $114.7 \pm 48.93$ | $108.2 \pm 37.64$  |

**Примечание.** М – среднее значение; m – ошибка среднего значения.

**Note.** M – mean value; m – error of mean.

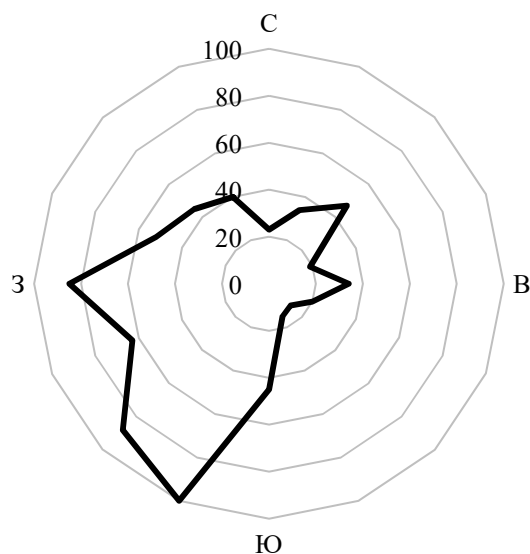
В летний период на поверхности солевого осадка образовывался слой ила, толщиной 3–5 см, вероятнее всего намываемый в результате волновой активности с более мелководных, свободных от соли, участков. В распределении цист артемии по дну происходили изменения по сравнению с апрелем. В июне (18.06.2020 г.) центральная часть дна оставалась под гнетом солевого осадка, и средняя по озеру численность донных цист составляла  $232.7 \pm 124.15$  тыс. экз./м<sup>2</sup> ( $C_v = 238.6\%$ ) или  $23.6 \pm 17.34$  экз./г. В июле и августе этот показатель увеличился до  $1794.5 \pm 578.30$  и  $2537.9 \pm 552.81$  тыс. экз./м<sup>2</sup> соответственно. Максимальная концентрация цист в составе грунта достигала 2075 экз./г (июль), средняя плотность составляла в июле  $344.0 \pm 137.58$  экз./г, в августе уменьшилась до  $93.4 \pm 33.40$  экз./г. Обращает на себя внимание и более равномерное распределение, по сравнению с весенне-летним периодом, коэффициент вариации численности по станциям снижался до 81.5%. Биомасса донных цист к августу составляла 4594 т или 254 кг/га, из них 92% приходилось на центральную часть дна.

В толще воды, напротив, концентрация цист снижалась в летний период. Минимальная численность цист в толще воды в июле ( $9.9 \pm 1.51$  тыс. экз./м<sup>3</sup>) совпадала с наибольшей их концентрацией на дне ( $344.0 \pm 137.58$  экз./г). В августе в воде находилось  $37.1 \pm 8.27$  тыс. экз./м<sup>3</sup> диапаузирующих яиц артемии. Также, по-видимому, определенную роль сыграла добыча артемии (на стадии цист). В июле–августе 2020 г. на оз. Кучукское было

добыто 196 т артемии (на стадии цист) (по данным Верхнеобского территориального управления Росрыболовства), что составляло 69% от общего объема вылова за 2020 г.

По данным гидробиологических съемок, в осенний период (26.09.2020 г., 16.10.2020 г.) вся площадь дна водоема была покрыта осадком кристаллической соли. Цист артемии в составе соли и на ее поверхности не отмечалось. В сентябре в водной толще численность диапаузирующих яиц была наибольшей на мелководных участках юго-западной части акватории (от 123.1 до 185.0 тыс. экз./м<sup>3</sup>), в центре и северной областях озера этот показатель находился в пределах 7.8–144.2 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В октябре в воде концентрация цист сократилась до  $17.2 \pm 3.5$  тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Таким образом, в вегетационный период 2020 г. отмечалась цикличность в образовании донных отложений. При этом имеющиеся на дне цисты артемии в центральной части акватории оставались под прессом солевого осадка в течение всего периода исследования и не участвовали в пополнении численности рачков и цист артемии в планктоне. Наибольшее значение в развитии первого поколения науплиусов играли цисты из скоплений на юго-западном побережье озера, а также из донных отложений мелководья. Примечательно, что осенью наибольшие концентрации цист наблюдались на тех же участках, что и весной, это обусловлено преобладающим направлением ветров в летне-осенний период (рис. 4).



**Рис. 4.** Преобладающие направления ветра (“роза ветров”) в районе расположения оз. Кучукское, август–октябрь 2020 г.

**Fig. 4.** Prevailing wind directions (“wind rose”) in the area of the location of Kuchukское Lake, August–October 2020. С – North; В – East; Ю – South; З – West.

Одной из основных задач исследования было определение жизнеспособности донных цист артемии (доля выклева науплиусов). Для этого исследовали образцы цист артемии, отобранные 26.04.2020 г., то есть после прохождения периода зимней диапаузы. Доля вылупившихся науплиусов из цист с поверхности воды после 24 часов составляла 20.27%. Однако, в последующие 6 часов выклев снижался до 13.12%, отмечались погибшие науплиусы (табл. 3). Такой результат можно объяснить активацией (выход из состояния диапаузы) в условиях водоема части эмбрионов, которые в последующий период транспортировки

не выклюнулись из-за отсутствия благоприятных условий, при этом потеряли необходимые для жизнедеятельности запасы энергии. Известно, что в первые сутки науплиусы не питаются, а используют резерв желтка [Manual for the culture..., 1986], которого, по-видимому, в сложившихся условиях было недостаточно. По истечению 48 часов инкубации доля выклева науплиусов составляла 23.81%.

Доля жизнеспособных эмбрионов в донных цистах была низкой и не превышала 20%. Наблюдалось увеличение показателя выклева науплиусов с течением времени от 1.36% до 17.19% (табл. 3).

Расчет биомассы цист артемии, находящихся на дне в апреле 2020 г. имеет вид:

$$W_3 = 86.72 \times 10^3 \times 175.7 \times 10^6 \times 10^{-11} = 152.4 \text{ т (способ 1)}.$$

По результатам проведенных работ, становится очевидно, что для расчета биомассы донных цист нецелесообразно использование всей акватории оз. Кучукское. Для определения доступной для всплытия площади использовали координаты станций наблюдения, карту изобат озера, а также спутниковую карту для определения площадей. Согласно сетке станций, а также наблюдаемых на них типам грунтов в весенне-летний период 2020 г., доступная для всплытия донных цист площадь составляла 129 км<sup>2</sup> или 73% от общей площади озера. Средний выклев науплиусов из донных цист в апреле составлял 8.9%, максимальный – 19.0%. Расчет биомассы донных цист, с учетом приведенных показателей, будет иметь следующий вид:

$$W_3 = 102.78 \times 10^3 \times 129 \times 10^6 \times 10^{-11} = 132.6 \text{ т};$$

$$132.6 \times 0.089 = 11.8 \text{ т или } 132.6 \times 0.19 = 25.2 \text{ т (способ 2)}.$$

**Таблица 3.** Доля жизнеспособных цист артемии из оз. Кучукское по показателям выклева, 26.04.2020 г.

**Table 3.** The hatching of *Artemia* cysts from Kuchukское Lake, 04.26.2020

| Место отбора образца, № образца<br>Place of sampling, № of sample             | Доля вылупившихся науплиусов (%) за время экспозиции (ч)<br>Percentage of hatched nauplius (%) during exposure (h) |       |       |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 24 ч   |       | 30 ч  |       | 48 ч  |       |
|   | Н-   | Н+    | Н-    | Н+    | Н-    | Н+    |
| Цисты из грунта, 1<br>Bottom <i>Artemia</i> cysts, 1                          | 1.36   | 5.13  | 6.58  | 9.02  | 8.80  | 16.82 |
| Цисты из грунта, 2<br>Bottom <i>Artemia</i> cysts, 2                          | 3.94   | 6.08  | 3.64  | 9.52  | 17.19 | 19.03 |
| Цисты с поверхности воды, 3<br><i>Artemia</i> cysts from the water surface, 3 | 20.27  | 28.15 | 13.12 | 15.22 | 23.81 | 30.41 |

**Примечание.** Н- выклев свободноплавающих науплиусов; Н+ выклев свободноплавающих науплиусов в сумме с проклюнувшимися эмбрионами.

**Note.** Н- hatching of naupliuses; Н+ hatching of naupliuses and embryos.



Таким образом, на доступной для всплывания акватории оз. Кучукское в апреле 2020 г. находилось 132.6 т цист артемии, из них жизнеспособных – от 11.8 до 25.2 т. Разница между показателями, рассчитанными двумя способами, составляет от 84 до 92%.

#### *Озеро Большое Яровое*

По результатам исследований в 2020 г., грунты в оз. Большое Яровое на мелководных участках представлены крупно- и среднедисперсным песком, подвижным в зоне прибоя. На глубине 0.8–1.0 м – грунт плотный, песчаный с примесью глины. На глубине более 2.5–3.0 м дно водоема покрыто илами интенсивно-черного цвета с запахом сероводорода, имеющего мелкодисперсную (коллоидную) структуру. Толщина ила на разных участках глубоководной части водоема различна. В центральной части дна озера слой ила превышает 30 см, на более мелководных участках (глубина 4.0–6.0 м) толщина иловых отложений составляет 10–15 см. В толще ила, на глубине 15–20 см, присутствуют продукты сгорания угля.

В апреле в оз. Большое Яровое концентрация цист на дне составляла в среднем  $1501.7 \pm 594.71$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, в толще воды –  $39.3 \pm 25.8$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. В составе зоопланктона присутствовали только науплиусы артемии, их количество на отдельных мелководных при-

брежных участках (глубина 1.5 м) достигало 273.4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, в среднем по озеру –  $5.9 \pm 0.96$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. На поверхности воды и вдоль уреза наблюдались скопления артемии (на стадии цист). В отобранных образцах при транспортировке наблюдался выклев науплиусов, поэтому исследовать цисты в лабораторных условиях не представлялось возможным. Не смотря на активный выклев науплиусов, их концентрация в толще воды была очень низкой, что объясняется недостатком тепла.

В июне средняя численность рачков первой генерации составляла  $28.6 \pm 2.48$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, из них 96% были представлены науплиусами. Половозрелые самки были немногочисленны, в яйцевых мешках наблюдались неоформленные половые продукты. Можно сделать вывод о продолжающемся вылуплении науплиусов из перезимовавших цист и отсутствии цистоношения у самок. Это отразилось на численности цист в толще воды: скоплений не наблюдалось, средняя по озеру плотность составляла  $17.4 \pm 3.38$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. При этом концентрация цист на дне в июне увеличилась по сравнению с апрелем в 23 раза (табл. 4). Значительные скопления диапаузирующих яиц артемии в весенний период, по-видимому, погрузились на дно в процессе прогревания водной толщи и конвекционных процессов.

**Таблица 4.** Численность цист артемии в донных грунтах оз. Большое Яровое, 2020 г.

**Table 4.** The number of *Artemia* cysts in the bottom soils of Bolshoe Yarovoe Lake, 2020

| Дата исследования<br>Data | Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup> / Number, thousand ind./m <sup>2</sup> |            |
|---------------------------|--|------------|
|                           | <i>M</i> ± <i>m</i>  | <i>Lim</i> |
| 27.04.2020                | 1501.7±594.66  | 0–4744     |
| 21.06.2020                | 34812.0±10410.31   | 20–65861   |
| 14.07.2020                | 30120.2±8813.11  | 15–101676  |
| 16.08.2020                | 25704.3±5950.60  | 567–94340  |
| 20.09.2020                | 52828.3±33437.53   | 94–660800  |

**Примечание.** *M* – среднее значение; *m* – ошибка среднего значения; *Lim* – интервал (минимальное–максимальное значение).

**Note.** *M* – mean value; *m* – error of mean; *Lim* – the interval (minimum–maximum mean).

Средняя по озеру численность донных цист в июне–августе изменялась незначительно ( $28610.4 \pm 2629.55$  тыс. экз./м<sup>2</sup>; *Cv*=15.9%) при различной вариации на каждой станции (*Cv* колебался от 0 до 94%). В толще воды количество цист возрастало с образованием скоплений на отдельных участках озера по направлению преобладающих ветров. В августе их концентрация составляла  $100.8 \pm 24.94$  тыс. экз./м<sup>3</sup> при условии осуществления добычи артемии (на стадии цист). Согласно проведенным ранее исследованиям хорологической структуры цист артемии

в толще воды, процесс их оседания наиболее интенсивно проходит в августе–октябре [Пермякова, 2012 (Permyakova, 2012); Веснина, Пермякова, 2013 (Vesnina, Permyakova, 2013)]. В сентябре 2020 г. численность донных цист возросла до  $52828.2 \pm 33437.53$  тыс. экз./м<sup>2</sup> при значительной вариации по станциям (*Cv*=283.1%).

С учетом средней по водоему численности донных цист в сентябре ( $52828.2$  тыс. экз./м<sup>2</sup>) и площади оз. Большое Яровое (см. табл. 1), биомасса донных цист составляла 38934 т или 5283 кг/га. Такие показате-

тели биомассы превышают репродуктивные возможности популяции артемии за один вегетационный сезон. Среднегодовое (2000–2019 гг.) общий запас артемии (на стадии цист) в оз. Большое Яровое, без учета донных цист, составляет 880 т [Веснина и др., 2019 (Vesnina et al., 2019)]. Следовательно, накопление цист артемии в донных отложениях происходило на протяжении ряда лет.

Диапазон колебания численности по станциям был значительным: от 0 до 660.8 млн экз./м<sup>2</sup> (см. табл. 4). Средние значения, в таком случае, не дают достоверного представления о биомассе цист артемии, находящихся на дне и возникает необходимость более детального рассмотрения их пространственного распределения.

В грунтах со значительным содержанием средне- и крупнодисперсного песка с примесью глины (глубина 0.5–1.0 м) численность цист колебалась в течение вегетационного периода от 0 до 12506.36 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Максимальное их количество отмечалось на мелководной станции по направлению ветра, в зоне прибоя, где образовывались скопления артемии (на стадии цист). В апреле (27.04.2020 г.), при отсутствии половозрелых самок и естественного прироста биомассы цист, средняя численность диапаузирующих яиц на мелководных станциях составляла 261.9 тыс. экз./м<sup>2</sup>, в августе – 6028.1 тыс. экз./м<sup>2</sup>. Предположительно, присутствие цист артемии в рыхлом, подвижном песчаном грунте оз. Большое Яровое обусловлено их концентрацией в толще воды и образованием скоплений в прибрежной зоне. Удельная численность донных цист на глубине до 6.0 м составляла 1.0–24.0%.

Наибольшая концентрация донных цист была в иловых отложениях на глубине от 6.1 до 9.5 м. Их удельная численность составляла в течение вегетационного периода от 76 до 90%, в среднем за вегетационный период 86.1% общей численности.

Полученные результаты могут свидетельствовать о наличии корреляционной зависимости между концентрацией донных цист и типом грунта и станут задачей следующих исследований с привлечением данных с разнотипных гипергалинных водоемов.

Качественный анализ проб выявил присутствие в грунтах оз. Большое Яровое внешне разных яиц артемии, которые можно условно разделить на группы: внешне-полноценные цисты (без видимых повреждений); яйца с поврежденным хорионом или без него (на оболочке имеются трещины или неокрашенные области, возможно полное отсутствие хориона);

цисты с неестественной окраской хориона (от серого до черного; содержимое оранжевого цвета или серого, неструктурированное). Внешне-полноценные цисты составляли 40.4–69.5% от общей численности. Неестественно окрашенные яйца были приурочены к илистым грунтам и составляли от 1.1 до 3.2% от общей численности.

Кроме пространственного распределения донных цист, было проанализировано их содержание в разных слоях илистых грунтов (табл. 5). Наибольшее содержание внешне-полноценных цист отмечалось в центральной, самой глубокой, части озера, где их плотность в слое грунта 0–20 см составляла 776.47 млн. экз./м<sup>3</sup>. В северной и южной частях озера слой ила был меньше, концентрация цист во всей толще ила сопоставима (320.61 и 311.24 млн. экз./м<sup>3</sup>, соответственно). Содержание поврежденных цист соответствовало концентрации полноценных: наибольшая плотность в центре (500.91 млн. экз./м<sup>3</sup>), на севере и юге в пределах 392.83–411.24 млн. экз./м<sup>3</sup>. Однако, содержание цист с неестественно окрашенным хорионом (серые и черные) было максимальным в северной части озера (120.01 млн. экз./м<sup>3</sup>), в центральной и в южной частях акватории их плотность составляла 24.70–29.47 млн. экз./м<sup>3</sup>. Это возможно объяснить расположением на северном берегу ТЭЦ г. Яровое, который осуществляет сброс сточных вод в озеро в этой части, а также продукты сгорания угля в виде дыма распространяются непосредственно над озером и, по-видимому, частично оседают вместе с осадками.

В процентном соотношении плотности цист в разных горизонтах грунта по станциям имеются отличия (рис. 5). В поверхностном слое (0–10 см) на севере и юге акватории содержится 62–73% внешне-полноценных цист. Удельная плотность поврежденных и неестественно окрашенных яиц увеличивается в горизонте, больше 5 см. Глубины озера на этих станциях сопоставимы (6.8 и 7.0 м), а термоклин в весенне-летний период расположен глубже (7.0–8.0 м), поэтому, предположительно, поднятие (всплытие) и оседание цист на такие глубины проходит более активно, что объясняет высокое содержание внешне-полноценных цист в верхних слоях грунта.

В центральной, наиболее глубокой, части озера в верхних слоях ила (0–10 см) содержится минимальное количество внешне-полноценных цист (25% от общей их численности), такая же тенденция прослеживается для поврежденных (19%) и неестественно окрашенных яиц (14%).

**Таблица 5.** Показатели плотности цист артемии в толще иловых отложений в оз. Большое Яровое в осенний период, 2020 г.**Table 5.** Indicators of the density of Artemia cysts in the thickness of silt deposits in Bolshoe Yarovoe Lake, Autumn 2020

| Дата<br>Data | Участок<br>(глубина, м)<br>Plot (depth, m) | Группа цист<br>Group of Artemia cysts  | Плотность цист (млн. экз./м³) в слое ила<br>The density of Artemia cysts (million ind./m³) in the silt layer |         |          |          |        |
|--------------|--|--|--|---------|----------|----------|--------|
|              |  |  | 0–5 см   | 5–10 см | 10–15 см | 15–20 см | >20 см |
| 20.09.2020   | Центр (9.4 м)<br>Center (9.4 m)            | Внешне-полноценные<br>Externally-whole | 26.25  | 208.40  | 128.00   | 249.47   | 252.27 |
|              |  | Поврежденные<br>Defective              | 14.00  | 93.20   | 78.20    | 82.20    | 282.53 |
|              |  | Серые, черные<br>Gray or black color   | 0.00   | 7.00    | 0.20     | 27.53    | 0.27   |
|              | Юг (6.8 м)<br>South (6.8 m)                | Внешне-полноценные<br>Externally-whole | 76.60  | 115.44  | 75.20    | 44.00    | –      |
|              |  | Поврежденные<br>Defective              | 92.60  | 157.04  | 108.80   | 52.80    | –      |
|              |  | Серые, черные<br>Gray or black color   | 1.33   | 3.73    | 6.40     | 28.00    | –      |
|              |  | Внешне-полноценные<br>Externally-whole | 103.60   | 131.68  | 66.08    | 19.25    | –      |
|              |  | Поврежденные<br>Defective              | 88.00  | 131.84  | 42.24    | 130.75   | –      |
|              |  | Серые, черные<br>Gray or black color   | 1.60   | 59.20   | 53.76    | 5.45     | –      |
| 16.10.2020   | Север (7.0 м)<br>North (7.0 m)             | Внешне-полноценные<br>Externally-whole | 30.40  | 126.24  | 163.84   | 252.48   | 115.60 |
|              |  | Поврежденные<br>Defective              | 12.00  | 70.24   | 81.12    | 62.72    | 225.60 |
|              |  | Серые, черные<br>Gray or black color   | 0.00   | 1.12    | 5.60     | 4.48     | 3.20   |
|              | Центр (9.4 м)<br>Center (9.4 m)            | Внешне-полноценные<br>Externally-whole | 103.60   | 131.68  | 66.08    | 19.25    | –      |
|              |  | Поврежденные<br>Defective              | 88.00  | 131.84  | 42.24    | 130.75   | –      |
|              |  | Серые, черные<br>Gray or black color   | 1.60   | 59.20   | 53.76    | 5.45     | –      |

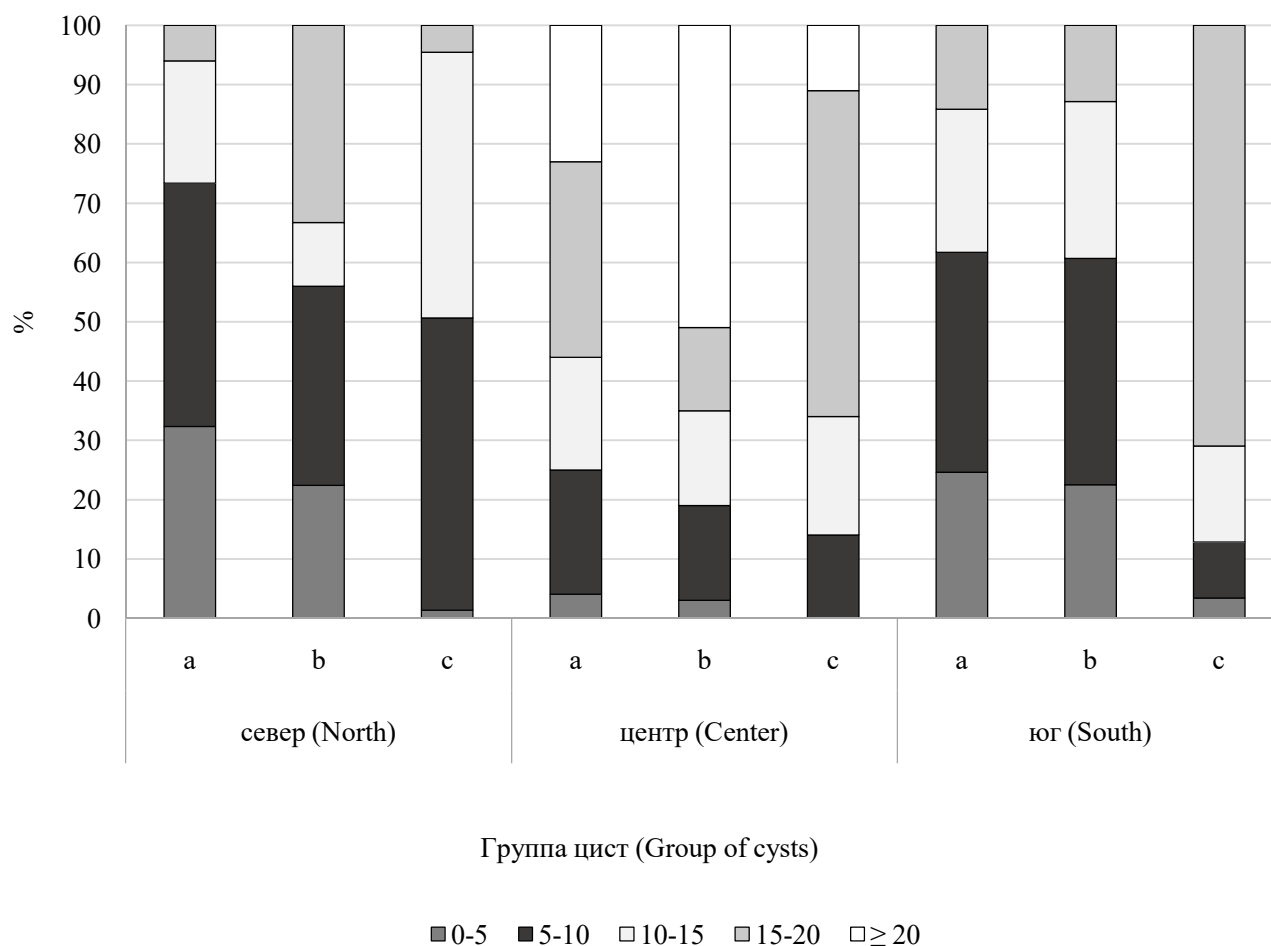
Наибольшая концентрация всех выделенных групп отмечается в горизонте от 15 см и глубже. Это может условно указывать на более длительное нахождение цист в донных илах и более медленные процессы оседания и всплытия.

Возможно, в процессе охлаждения водной толщи озера и образования слоя пресной воды на поверхности из-за осадков в осенний период, цисты тонут до определенной глубины и находятся на разделе двух плотностей. Часть их опускается на дно, а основная масса, по-видимому, зимует в толще воды. Такой процесс описан для озера Большое Соленое (Great Salt Lake, штат Юта, США), где изучали выживаемость цист в зимний период в береговых выбросах и толще воды [Belovsky et al., 2019]. Такой же процесс наблюдали специалисты “АлтайНИРО” в лабораторных условиях при добавлении пресной воды в рапу озера с цистами без активного перемешивания. Основная масса цист опускалась, но не тонула, а располагалась на разделе двух плотностей. Соленость

воды верхнего слоя составляла 40 г/кг, нижнего – 120 г/кг.

Жизнеспособность донных цист (выклев науплиусов), вымытых из ила с глубины более 9.0 м, в весенний период составляла 4.46–15.93%, с глубины 8.0 м – 17.28–26.12% (табл. 6). Таким образом, жизнеспособность донных цист, прошедших диапаузу в условиях водоема, достаточно низкая даже при оптимальных условиях и различна в зависимости от глубины отбора образцов.

Образцы цист артемии, отобранные в сентябре, инкубировали с использованием разных растворов. Выклев науплиусов в условиях материнской рапы отсутствовал, цисты дегидратировались и всплыли на поверхность. Также не имели значения время экспозиции и состав инкубационного раствора для цист из ила с горизонта более 20 см (табл. 7). Признаки жизнеспособности цисты из толщ воды проявляли после 72 ч инкубации в материнской рапе с соленостью 20–30 г/кг. Также потенциал имели диапаузирующие яйца из верхних слоев грунта (0–10 см), из них вылупляемость составляла 1.5–8.1%.



**Рис. 5.** Удельная плотность разнокачественных цист артемии в слоях илистого грунта (см) оз. Большое Яровое, 2020 г. а – внешне-полноценные цисты; б – цисты с поврежденной оболочкой; с – цисты серого или черного цвета.

**Fig. 5.** Specific density of *Artemia* cysts of different quality in the layers of the silty soil (cm) of Bolshoe Yarovoe Lake, 2020. а – Externally-whole cysts; б – Cysts with defective shell; с – Cysts of gray or black color.

**Таблица 6.** Показатели выклева науплиусов из донных цист из оз. Большое Яровое, 2020 г.

**Table 6.** Indicators of hatching of nauplius from bottom *Artemia* cysts from Bolshoe Yarovoe Lake, 2020

| Глубина отбора, м<br>Sampling depth, m | Дата<br>Data | Экспозиция, ч<br>Exposure, h | Н  | Выклев, %<br>Hatching, % |
|--|--------------|------------------------------|----|--------------------------|
| Более 9.0 м<br>More than 9.0 m         | 27.04.20     | 24                           | Н- | 4.46                     |
|  |              |                              | Н+ | 7.27                     |
|  |              | 30                           | Н- | 9.49                     |
|  |              |                              | Н+ | 15.93                    |
| До 8.0 м<br>Before 8.0 m               | 27.04.20     | 24                           | Н- | 23.53                    |
|  |              |                              | Н+ | 26.12                    |
|  |              | 30                           | Н- | 17.28                    |
|  |              |                              | Н+ | 21.99                    |

**Примечание.** Н- – выклев свободноплавающих науплиусов; Н+ – выклев свободноплавающих науплиусов в сумме с проклюнувшимися эмбрионами.

**Note.** Н- – hatching of naupliuses; Н+ – hatching of naupliuses and embryos.

**Таблица 7.** Показатели выклева (%) науплиусов из цист артемии из оз. Большое Яровое, 20.09.2020 г.**Table 7.** Hatching (%) of nauplius from Artemia cysts from Bolshoe Yarovoe Lake, 09.20.2020

| Инкубационный раствор (соленость, г/кг)<br>Incubation solution (salinity, g/kg) | Место отбора образца цист артемии<br>Place of sampling of Artemia cysts |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|   | С поверхности воды<br>From the water surface                            | Донные, горизонт 0–5 см<br>Bottom, layer 0–5 cm | Донные, горизонт 0–10 см<br>Bottom, layer 0–10 cm | Донные, горизонт более 20 см<br>Bottom, layer more than 20 cm |
| лаб. р-р (20–30)  | 0–1.0   | 1.5–3.8   | 0–7.1   | 0   |
| рапа (150–160)  | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 0.5 рапа (60–70)  | 0–0.6   | 0–3.2   | 0.5–3.6   | 0   |
| 0.25 рапа (25–30)   | 0.3–2.0   | 1.3–6.0   | 1.3–8.1   | 0   |

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Образование диапаузирующих яиц (цист) является важным экологическим приспособлением для сохранения жизнеспособности популяции артемии. Диапауза возникает в жизненном цикле животных как адаптация для переживания неблагоприятных условий [Хмелева, 1988 (Hmeleva, 1988)]. Зимуют цисты артемии в водоеме на дне, в толще воды, в береговых выбросах. Основным показателем для развития рачков в весенний период является жизнеспособность цист. Для возобновления метаболизма эмбриона необходимо сочетание условий, которые широко освещены в зарубежной и отечественной литературе [Спекторова, 1984 (Spektorova, 1984); Хмелева, 1988 (Hmeleva, 1988); Соловов, Студеникина, 1990 (Solovov, Studenikina, 1990); Инструкция по использованию..., 2000 (Instrukciya po ispol'zovaniyu..., 2000); Vanhaecke et al., 1981, 1984; Drinkwater, Crowe, 1991]. Если в искусственных условиях создается их оптимальное сочетание, способствующее увеличению выклева науплиусов, то в водоеме повлиять на вылупляемость невозможно.

В зарубежной и отечественной литературе вопрос смертности цист в зимний период в условиях водоема остается малоизученным. Согласно многолетним исследованиям на Большом Соленом озере (Great Salt Lake, штат Юта, США), основная часть цист, дающая начало первому поколению рачков весной, зимует в береговых выбросах и в толще воды. Их смертность достаточно высокая (34–91%) и обусловлена наличием пищевых ресурсов для самок, а также температурным режимом зимой и весной [Belovsky et al., 2019]. Авторы считают, что зимняя выживаемость цист очень важна для популяции артемии в Большом Соленом озере и должна учитываться при промышленной добыче биоресурса [Belovsky, Pershon, 2019]. Полученные в 2020 г. результаты для самосадочного оз. Кучукское подтверждают, что основную роль для возобновления

жизнедеятельности рачков в весенний период играют цисты, перезимовавшие в береговых выбросах, а также на мелководье. В относительно глубоководном оз. Большое Яровое с неразвитой литоралью, цисты зимуют главным образом в водоеме – в толще воды и на дне. Доказаны наличие разнокачественных цист в составе грунтов и длительный период их накопления, а также неравномерность в горизонтальном и вертикальном распределении.

Исследованию запасов цист артемии в составе донных отложений в разнотипных гипергалинных водоемах России посвящен ряд работ [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016); Визер, Ростовцев, 2016 (Vizer, Rostovcev, 2016); Семик, Ушакова, 2017 (Semik, Ushakova, 2017); Литвиненко и др., 2020 (Litvinenko et al., 2020)]. Все авторы отмечают значительную численность донных цист, а также их присутствие в течение всего года. При этом приведенные колебания численности варьируют от 0 до нескольких десятков миллионов, что согласуется с нашими данными и подтверждает неравномерность распределения донных цист в пространстве и времени.

Исследования на примере оз. Кучукское и Большое Яровое доказали более значительную концентрацию цист в илах, по сравнению с другими типами грунтов. В донных иловых отложениях минерализованных озер Кулундинской степи формируется сообщество анаэробных бактерий, создающих значительную биомассу [Sorokin et al., 2006]. Выраженный запах илов в обследованных озерах свидетельствует о развитии сульфатредуцирующих анаэробных прокариот, вызывающих процессы разложения. Опытным путем установлено, что хранение цист с высоким содержанием органических примесей, даже в благоприятных для прохождения диапаузы условиях, приводит к снижению их жизнеспособности и гибели [Клепиков, 2012 (Klepikov, 2012)]. Таким обра-

зом, на дне не только отсутствуют условия для прерывания диапаузы, но и создается агрессивная среда, что приводит, как показано в работе, к повреждению внешней оболочки цист и гибели эмбриона.

Жизнеспособность донных цист изучена недостаточно. Российские исследователи [Литвиненко и др., 2009 (Litvinenko et al., 2016)] приводят выживаемость бентосных цист в пределах 1.3–57.5%. В этих показателях по разным озерам не прослеживается единой тенденции: выклев может, как увеличиваться, так и снижаться в весенний период, либо весь год находится на одном уровне. Таким образом, в водоемах на дне присутствуют цисты с разной степенью жизнеспособности, которая обусловлена условиями в каждом конкретном

озере. Полученные нами данные предварительны, но согласуются с описанными в литературе исследованиями.

Немаловажным фактором становится и добыча артемии (на стадии цист). На водоемах Алтайского края вылов сырья осуществляется с поверхности воды (оз. Большое Яровое), из береговых выбросов, а также с воды вдоль уреза при помощи искусственных концентраторов. По данным исследований, проведенных на оз. Большое Солёное (штат Юта, США), плавучесть цист в толще воды или их погружение имеет генетическую и экологическую основы. Ученые показали, что селективный сбор плавучих цист ведет к снижению их качества и увеличению смертности науплиусов в водоеме [Sura, Belovsky, 2016].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованных в 2020 г. гипергалинных озерах Алтайского края наблюдалось невысокое разнообразие типов грунтов, которые можно подразделить на несколько групп по доминирующим частицам. В оз. Кучукское большую роль играют донные отложения солей, в образовании которых прослеживается цикличность. Такой тип накопления влияет на формирование биомассы донных цист артемии, делая их недоступными для всплытия в весенний период. По результатам исследований можно сделать вывод о низкой роли донных цист в развитии популяции рачков и значительном вкладе скоплений на берегу и мелководных заиленных участках водоема. Средняя вылупляемость науплиусов из донных цист составляла 8.9%.

В оз. Большое Яровое иловые отложения содержат значительную биомассу цист артемии, по оценкам сентября 2020 г. – 38934 т.

В процессах их накопления и всплытия определяющую роль играет гидротермический и гидрохимический режимы, а также глубина водоема. На участках акватории с глубиной до 7.0 м в поверхностных слоях грунта содержится до 73% внешне-полноценных цист с показателем выклева науплиусов в весенний период 22%. В центральной, наиболее глубоководной, части водоема концентрация цист на дне максимальная, но и наименее доступная. Содержание полноценных цист в верхних слоях грунта наименьшая, а их жизнеспособность в весенний период не превышает 10%.

Таким образом, в разнотипных гипергалинных водоемах Алтайского края роль донных цист в биоте озера различна, что делает необходимым учет при расчетах их биомассы таких показателей, как доступная для всплытия площадь, глубина озера, характер грунтов, жизнеспособность донных цист.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Алтайского филиала ФГБНУ “ВНИРО” (“АлтайНИРО”) по прикладной теме: “Совершенствование системы регулирования промысла и повышение эффективности использования ресурсов промысловых беспозвоночных гипергалинных водоемов Российской Федерации” (№ 076-00005-20-ПР).

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность за помощь в сборе и обработке материалов сотрудникам лаборатории гидробиологии “АлтайНИРО”: заведующей лабораторией, кандидату сельскохозяйственных наук Галине Дмитриевне Толкушкиной, главному специалисту Дмитрию Александровичу Суркову, старшему специалисту Яне Сергеевне Пятковой, старшему лаборанту Юлии Николаевне Косачевой, а также Александру Владимировичу Савоськину, бывшему главному специалисту лаборатории гидробиологии “АлтайНИРО”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.  
 Богословский Б.Б. Озероведение. М.: Изд-во МГУ, 1960. 335 с.  
 Верещагин Г.Ю. Методы морфометрической характеристики озер // Тр. Олонец. науч. эксп., 1930. Вып. 1, ч. II. География. 106 с.

- Веснина Л.В., Пермякова Г.В. Влияние техногенного фактора на биоту озера Кучукское (Алтайский край) // Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. СПб.: Феникс, 2011. С. 72–75.
- Веснина Л.В., Пермякова Г.В. Динамика численности и распределение разновозрастных особей жаброногого рачка рода *Artemia* Leach, 1819 и его цист в глубоководном озере Большое Яровое Алтайского края // Вестник Томского гос. ун-та. 2013. №1(21). С. 89–102.
- Веснина Л.В., Лукерина Г.В., Ронжина Т.О., Результаты многолетнего экологического мониторинга гипергалинного озера Большое Яровое, г. Славгород Алтайского края // Рыбное хозяйство, 2019. № 4 (159). С. 19–27.
- Визер Л.С., Ростовцев А.А. Мониторинг *Artemia* sp. в гипергалинном озере Карачи // Вест. НГАУ. 2016. № 2. С. 65–70.
- Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1999. 285 с.
- Жадин В.И. Жизнь в реках. Бентос // Жизнь пресных вод СССР. М.-Л.: АН СССР, 1950. Т. 3. С. 149–183.
- Иванов П.В. Классификация озер по величине и по их средней глубине // Бюл. ЛГУ, 1948. № 21. С. 29–36.
- Инструкция по использованию артемии в аквакультуре. Тюмень: СибрыбНИИпроект, 2000. 59 с.
- Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Вводные и общие вопросы планктологии. М.: Наука, 1969. Т. 1. 440 с.
- Клепиков Р.А. Цисты рачка *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2012. 23 с.
- Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высш. шк., 1979. 480 с.
- Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Корентович М.А., Разова Л.Ф. История изучения бентосных цист артемии // Вестник рыбохозяйственной науки. 2018. Т. 5. № 3(19). С. 31–40.
- Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г. Артемия в озерах Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2009. 304 с.
- Литвиненко Л.И., Литвиненко А.И., Бойко Е.Г., Куцанов К.В., Корентович М.А. Влияние промысла цист артемии на экосистему гипергалинного озера. // Журн. Сиб. Федер. Ун-та. Биология, 2020. № 13(4). С. 348–367. doi: 10.17516/1997-1389-0333.
- Методические рекомендации по оценке запаса и прогнозированию рекомендованного объема добычи (вылова) артемии. М.: Изд-во ВНИРО, 2019. 50 с.
- Оксиук О.П. Жукинский В.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29. Вып. 4. С. 62–76.
- Пермякова Г.В. Жаброногий рачок *Artemia* Leach, 1819 в гипергалинных озерах Алтая (на примере озера Большое Яровое): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2012. 23 с.
- Пермякова Г.В., Веснина Л.В. Состояние промысловых запасов цист *Artemia* sp. в гипергалинных водоемах Алтайского края // Вопросы аквакультуры: тез. докл. Первой конф. молодых ученых NACEE. Тюмень: Госрыбцентр, 2009. С. 39–40.
- Семик А.М., Ушакова А.О. Современное состояние запасов жаброногого рачка артемии (*Artemia salina* L.) в соленых озерах Республики Крым. // Труды ЮгНИРО, 2017. Т. 54. С. 137–141.
- Соловов В.П., Студеникина Т.Л. Рачок артемия в озерах Западной Сибири: морфология, экология, перспективы хозяйственного использования. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 81 с.
- Спекторова Л.В. Обзор зарубежного опыта разведения артемии для использования ее в аквакультуре. М.: ВНИРО, 1984. 63 с.
- Хмелева Н.Н. Закономерности размножения ракообразных. Минск: Наука и техника, 1988. 208 с.
- Belovsky G.E., Perchon C., Larson Ch., Mellison Ch., Slade J., Mahon H., Appiah-Madson H., Luft J., Mosley R., Neill J., Stone K., Kijowski A. Overwinter survival of crustacean diapausing cysts: Brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah // Limnol. Oceanogr. 2019. № 64. P. 2538–2549. doi: 10.1002/lno.11203.
- Belovsky G.E., Pershon C. A management case study for a new fishery: Brine shrimp harvesting in Great Salt Lake. // Ecol. Appl., 2019. № 29(3): e01864. doi: 10.1002/eap. 1864.
- Drinkwater L.E., Crowe J.H. Hydration state, metabolism, and hatching of Mono Lake *Artemia* cysts. // Biol. Bul., 1991. Jun;180(3). P. 432–439.
- <http://3planeta>
- Manual for the culture and use of brine shrimp in aquaculture. Belgium: Ghent universiteit, 1986. 319 p.
- Sorokin D.Yu., Tourova T.P., Lysenko A.M. and Muyzer G. Diversity of culturable halophilic sulfur-oxidizing bacteria in hypersaline habitats // Microbiology, 2006. № 152. P. 3013–3023. doi: 10.1099/mic.0.29106-0.
- Sura S.A., Belovsky G.E. Impacts of harvesting on brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah, USA. // Ecol. Appl., 2016. № 26(2). P. 407–414.
- Van Stappen G. Introduction, biology and ecology of *Artemia* // Manual on the production and use of live food for aquaculture. Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Center, University of Ghent, Belgium, 1996. P. 79–136.
- Vanhaecke P., Cooreman A., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XV. Effect of light intensity on hatching rate of *Artemia* cysts from different geographical origin. // Mar. Ecol. Prog. Ser., 1981. Vol. 5. P. 111–114.
- Vanhaecke P., Siddall S.E., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. // J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1984. Vol. 80. P. 259–275.

## REFERENCES

- Alekin O.A. *Basics of Hydrochemistry*. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p. (In Russian)
- Belovsky G.E., Perchon C., Larson Ch., Mellison Ch., Slade J., Mahon H., Appiah-Madson H., Luft J., Mosley R., Neill J., Stone K., Kijowski A. Overwinter survival of crustacean diapausing cysts: Brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah. *Limnol. Oceanogr.*, 2019, no. 64, pp. 2538–2549. doi:10.1002/lno.11203.
- Belovsky G.E., Pershon C. A management case study for a new fishery: Brine shrimp harvesting in Great Salt Lake. *Ecol. Appl.*, 2019, no. 29(3): e01864. doi:10.1002/eap. 1864.
- Bogoslovskij B.B. Ozerovedenie. Moscow, MGU, 1960. 335 p. (In Russian)
- Drinkwater L.E., Crowe J.H. Hydration state, metabolism, and hatching of Mono Lake *Artemia* cysts. *Biol. Bul.*, 1991, Jun; no. 180(3), pp. 432–439.
- Hmeleva N.N. Patterns of reproduction of crustaceans. Minsk, Nauka i tekhnika, 1988. 208 p. (In Russian)
- http://3planeta
- Instrukciya po ispol'zovaniyu artemii v akvakul'ture [Instruction on the use of Artemia in Aquaculture]. Tyumen', Sibryb-NIIproekt, 2000. 59 p. (In Russian)
- Ivanov P.V. Classification of lakes by size and by their average depth. *Byul. LGU*, 1948, no. 21, pp. 29–36. (In Russian)
- Kiselev I.A. Plankton of seas and continental reservoirs. Introductory and general questions of planktology. Moscow, Nauka, 1969. Vol. 1. 440 p. (In Russian)
- Klepikov R.A. Cysts of the crustacean *Artemia* Leach, 1819 in the hyperhaline lakes of the Altai Territory. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Novosibirsk, 2012. 23 p. (In Russian)
- Konstantinov A.S. General hydrobiology. Moscow, Vysshaya shkola, 1979. 480 p. (In Russian)
- Litvinenko A.I., Bojko E.G., Korentovich M.A., Razova L.F. The history of studying Artemia's benthic cysts. *Vestnik rybohozyajstvennoj nauki*, 2018, vol. 5, no. 3(19), pp. 31–40. (In Russian)
- Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Bojko E.G., Kucanov K.V., Korentovich M.A. The effects of Artemia cysts harvesting on the salt lake ecosystem. *Zhurn. Sib. Feder. Un-ta. Biologiya*, 2020, no. 13(4), pp. 348–367. doi: 10.17516/1997-1389-0333. (In Russian)
- Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G. Brine shrimp Artemia in Western Siberia Lakes: translated from Russian. Novosibirsk: Nauka, 2016. 295 p
- Manual for the culture and use of brine shrimp in aquaculture (ed. P. Sorgeloos, P. Lavens, Ph. Leger et al.). Belgium: Ghent universiteit, 1986. 319 p.
- Metodicheskie rekomendacii po ocenke zapasa i prognozirovaniyu rekomendovannogo ob'ema dobychi (vylova) artemii [Methodological recommendations for assessing the stock and forecasting the recommended volume of production (catch) of Artemia]. Moscow, VNIRO, 2019. 50 p. (In Russian)
- Oksiyuk O.P., Zhukinskij V.N. Integrated ecological classification of the quality of surface waters of the land. *Gidrobiol. zhurn.*, 1993, vol. 29, pp. 62–76. (In Russian)
- Permyakova G.V. Gill-legged crustacean *Artemia* Leach, 1819 in the hyperhaline lakes of Altai (on the example of Bolshoe Yarovoe Lake). *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Novosibirsk, 2012. 23 p. (In Russian)
- Permyakova G.V., Vesnina L.V. The state of commercial stocks of Artemia cysts in hyperhaline reservoirs of the Altai Territory. *Tezisy dokladov Pervoj konf. molodyh uchenykh NACEE* [Abstracts of the First Conference of Young scientists of NACEE]. Tyumen', Gosrybcentr, 2009. P. 39–40.
- Semik A.M., Ushakova A.O. Current state of the brine shrimp (*Artemia salina* L.) stock in the salt lakes of Crimea. *Trudy YUGNIRO*, 2017, vol. 54, pp. 137–141. (In Russian)
- Solovov V.P., Studenikina T.L. Artemia crustacean in the lakes of Western Siberia: morphology, ecology, prospects for economic use. Novosibirsk, Nauka, 1990. 81 p. (In Russian)
- Sorokin D.Yu., Tourova T.P., Lysenko A.M. and Muyzer G. Diversity of culturable halophilic sulfur-oxidizing bacteria in hypersaline habitats. *Microbiology*, 2006, no. 152. pp. 3013–3023. doi:10.1099/mic.0.29106-0.
- Spektorova L.V. Review of foreign experience in breeding Artemia for its use in aquaculture. Moscow, VNIRO, 1984. 63 p. (In Russian)
- Sura S.A., Belovsky G.E. Impacts of harvesting on brine shrimp (*Artemia franciscana*) in Great Salt Lake, Utah, USA. *Ecol. Appl.*, 2016, no. 26(2), pp. 407–414.
- Van Stappen G. Introduction, biology and ecology of *Artemia*. *Manual on the production and use of live food for aquaculture*. P. Lavens, P. Sorgeloos (ed.). Belgium, Laboratory of Aquaculture and Artemia Reference Center, University of Ghent, 1996. P. 79–136.
- Vanhaecke P., Cooreman A., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XV. Effect of light intensity on hatching rate of *Artemia* cysts from different geographical origin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1981, vol. 5, pp. 111–114.
- Vanhaecke P., Siddall S.E., Sorgeloos P. International study on *Artemia*. XXXII. Combined effects of temperature and salinity on the survival of *Artemia* of various geographical origin. *J.Exp.Mar.Biol.Ecol.*, 1984, vol. 80, pp. 259–275.
- Vereshchagin G.YU. Methods of morphometric characteristics of lakes. *Trudy Olonec. nauch. eksp.*, 1930. Vyp. 1, ch. II. Geografiya. 106 p. (In Russian)
- Vesnina L.V., Permyakova G.V. Dynamics of number and distribution of uneven-age individuals of *Artemia* in deep-water Bolshoe Yarovoe Lake (Altaysky Kray). *Vestnik Tomskogo gos. un-ta*, 2013, no. 1(21), pp. 89–102. (In Russian)
- Vesnina L.V., Permyakova G.V. The influence of the technogenic factor on the biota of Kuchukskoe Lake (Altai Territory). *Materialy Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. Uchastiem* [Materials of the All-Russian Scientific Conference with the international]. St. Petersburg, Feniks, 2011. P. 72–75. (In Russian)



- Vesnina, L.V., Lukerina, G.V., Ronzhina T.O. Results of long-term environmental monitoring of the hiperhaline Bolshoe Yarovoe Lake, Slavgorod, Altai Territory. *Rybnoe hozyajstvo*, 2019, no. 4 (159), pp. 19–27. (In Russian)
- Vizer L.S., Rostovcev A.A. Monitoring of Artemia sp. In the hypersaline Lake Karachi. *Vestnik NGAU*, 2016, no. 2, pp. 65–70. (In Russian)
- Vodoemy Altajskogo kraja: biologicheskaya produktivnost' i perspektivy ispol'zovaniya [Reservoirs of the Altai Territory: biological productivity and prospects of use]. Novosibirsk, Nauka; 1999. 285 p. (In Russian)
- Zhadin V.I. Life in rivers. Benthos. *Zhizn' presnyh vod SSSR* [The life of fresh waters of the USSR]. Moscow-Leningrad, AN SSSR, 1950, vol. 3, pp. 149–183. (In Russian)

## THE RESULTS OF STUDYING DIAPAUSING EGGS (CYSTS) OF BRINE SHRIMP *ARTEMIA* ON THE BOTTOM OF HYPERHALINE LAKES OF THE ALTAI TERRITORY

G. V. Lukerina

*Altai branch of "VNIRO" ("AltaiNIRO")*  
656056, Barnaul, Russia, e-mail: artemiaalt@mail.ru  
Revised 25.01.2022

The results of studies of bottom Artemia cysts in Kuchukskoe Lake and Bolshoe Yarovoe Lake of the Altai Territory in 2020 are presents. Artemia cysts at the bottom of lakes were observed all year. This number depended on the type of soil. The biomass of bottom cysts in Kuchukskoe Lake was 154.2 tons in spring, of which available and externally-whole – from 11.8 to 25.2 tons. Bottom Artemia cysts are not available on 27% of the lake area in Kuchukskoe Lake due to the high salinity of the water and salt precipitation. The viability of cysts from shallow bottom areas was 8.9% in spring. In Kuchukskoe Lake the main role in the formation of first generation Artemia in spring is played by cysts from accumulations on the coast, washed away by the runoff of melt water. The deep water of Bolshoe Yarovoe Lake determines the peculiarities of the temperature regime in spring, which prevents the rise of Artemia cysts from the bottom from depths of more than 7.0 m. Significant silt deposits at the bottom of the lake are an aggressive environment for cysts, which is shown by the presence of different group of quality: externally-whole, with defective chorion, gray or black color. The biomass of bottom cysts in Bolshoe Yarovoe Lake was 38934 tons in autumn of 2020, which exceeds the reproductive capacity of the Artemia population in one year. This proves the long-term period of accumulation of cysts at the bottom and their incomplete participation in the formation of the Artemia first generation in spring. The maximum hatching of nauplius from bottom cysts in spring from a depth of more than 9.0 m was 16%, from a depth of 8.0 m – 26%.

**Keywords:** Artemia (brine shrimp), hyperhaline lakes, diapausing eggs (cysts), Artemia cysts on the bottom, hatching

УДК 579.69

## ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИЙ ПСЕВДОМОНАДНОГО КОМПЛЕКСА, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ОРГАНИЗМА *PARASALMO MYKISS* Walb., ПО ФАКТОРАМ ИНВАЗИЙНОСТИ

А. И. Савушкин, Н. А. Сидорова

ФГБОУ ВО “Петрозаводский государственный университет”  
185910 Республика Карелия, г. Петрозаводск, e.mail: fagafon@yandex.ru  
Поступила в редакцию 29.01.2022

В статье представлены результаты исследований фенотипических свойств бактерий группы псевдомонадного комплекса, выделенных из микрофлоры 57 особей радужной форели *Parasalmo mykiss* Walbaum, 1792 в возрасте 1+ и 2+, отобранных для планового исследования из водоемов рыбохозяйственного значения, расположенных на территории Карелии. Акцент на фенотипических свойствах выделенных микроорганизмов связан с возрастающей эпизоотической ролью вирулентных штаммов *Pseudomonas aureofaciens*, *Ps. chlororaphis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. putida* и других в развитии инфекционных заболеваний лососевых видов рыб. Выделение, идентификацию и изучение фенотипических признаков выделенных культур псевдомонад выполняли согласно рекомендациям по лабораторной диагностике псевдомнозов рыб. Параллельно, для анализа степени инвазийности, оценивали гемолитическую активность (ГА), а также способность к биопленкообразованию (БПО) и антилизоцимную активность (АЛА) бактерий. Обнаружено, что выделенные фенотипические варианты бактерий псевдомонадного комплекса обладают выраженной инвазийностью, которая в большей степени проявляется в виде гемолитической и антилизоцимной активности.

**Ключевые слова:** псевдомонады, фенотипическое разнообразие, инвазийность, микрофлора радужной форели.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-50-57

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, согласно парадигме изучения оппортунистических инфекций, среди ихтиопатологов все чаще возникает вопрос о причинах роста эпизоотического значения в распространении возбудителей бактериозов рыб, к которым относятся и представители рода *Pseudomonas* spp. В соответствии с классификацией LPSN “List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature” псевдомонады включены в тип Proteobacteria, класс Gammaproteobacteria, отряд Pseudomonadales, семейство Pseudomonadaceae и являются гетерогенной группой прокариот, которая состоит как из сапрофитных, так и условно-патогенных и патогенных видов. Первоначально *Pseudomonas* sp. были описаны как этиологические агенты болезни красной пятнистости или “Sekiten-bio”, которая вызывала массовую гибель японского угря, выращиваемого в прудах [Wakabayashi and Egusa, 1972]. Позже *Ps. anguilliseptica* [Wakabayashi, Egusa, 1972], *Ps. chlororaphis* [Hatai et al., 1975], *Ps. putida* [Altinok et al., 2006], *Ps. luteola* [Altinok et al., 2007], *Ps. alcaligenes* и *Ps. cichorii* [Сидорова, Обухова, 2013 (Sidorova, Obuhova et al., 2013)] определены, как возбудители оппортунистических инфекций у многих видов рыб. Отмечено распространение псевдомоноза у сеголеток, годовиков и двухлеток карпа, гибрида карпа

с амурским сазаном, пестрого толстолобика, белого толстолобика, карася. В работе Басанкиной В.М. [2020 (Basankina, 2020)] изучены псевдомонозы лососевых видов рыб, вызванные *Ps. fluorescens* и *Ps. chlororaphis*. Как правило, при псевдомонозах заражение происходит контактным путем через поврежденную кожу и жабры. Эпизоотии возникают при нарушении ветеринарно-санитарных и биотехнических нормативов [Нижельская и др., 2019 (Nizhelskaya et al., 2019); Басанкина, 2020 (Basankina, 2020)]. Характерно, что у рыб псевдомонады могут вызвать инфекционное заболевание, как самостоятельно, так и в ассоциациях с другими видами микроорганизмов в пределах рода или с более отдаленными таксонами. В исследовании Жезмер В.Ю. с соавторами [1991 (Zhezmer et al., 1991)] и в работе Гинаятова Н.С. [2018 (Ginayatov, 2018)] *Pseudomonas* sp. обнаружены в составе условно-патогенной микрофлоры воды и рыбы. В работе Сердюк А.В. [1989 (Serdyuk, 1989)] при изучении бактериоза лососей *Ps. fluorescens*, *Ps. nonliquefaciens*, *Ps. putida* были выделены в чистую культуру из ассоциации с *Vibrio* sp., *A. hydrophila*, *Flexibacter* sp., *Flavobacter* sp., *Streptococcus* sp.

Считается, что одна из причин широкого распространения псевдомонад в составе мик-

рофлоры воды естественных и искусственных водоемов кроется в их биологических особенностях: способности усваивать многообразные питательные субстраты в качестве источников углерода и энергии [Rojo, 2010; Palleroni, 2010], быстро адаптироваться к изменению абиотических и биотических факторов окружающей среды за счет синтеза большого спектра вторичных метаболитов [Puchalka et al., 2008; Spiers et al., 2000], образовывать биопленки, синтезировать антибиотикоподобные соединения и формировать полирезистентность к широкому перечню антибиотиков. Особенно важным является обнаруженная у *Pseudomonas* sp. возможность переноса детерминант резистентности к бактериям, обитающим в кишечнике человека. Гены устойчивости к антибиотикам, выявленные у рыб, оказались общими с выявленными у человека патогенами [Finck-Barbancon et al., 1997; Rhodes et al., 2000; Sorum, 2006; Furushita et al., 2003]. Согласно большинству выполненных исследо-

ваний, посвященных биологическим свойствам бактерий рода *Pseudomonas*, включая факторы вирулентности, последние изучены недостаточно и на сегодняшний день нет однозначной информации по эпизоотической ситуации по псевдомонозу, что свидетельствует об актуальности всестороннего исследования фенотипического разнообразия бактерий псевдомонадного комплекса. Цель выполненной работы заключалась в изучении фенотипического разнообразия псевдомонад, выделенных из организма радужной форели, по факторам инвазивности. Для реализации поставленной цели выдвинуты задачи: 1) из клинического материала выделить и идентифицировать представителей рода *Pseudomonas* spp.; 2) оценить особенности инвазивности выделенных культур по гемолитической активности; 3) изучить способность выделенных культур к биопленкообразованию и антилизоцимной активности.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Все исследования по выделению, идентификации и изучению биологических свойств псевдомонад проводили на базе лаборатории микробиологии НИЦ по аквакультуре Института биологии, экологии и агротехнологий Петрозаводского госуниверситета с привлечением ресурсов малого предприятия инновационного сектора Петрозаводского госуниверситета “Микробиом”. Методологический принцип исследовательской работы заключался в комплексном подходе по оценке распространения, структуры, особенностей культивирования и идентификации псевдомонад, выделенных из клинического материала 57 особей *Parasalmo mykiss* в возрасте 1+ и 2+, отобранных из водоемов, расположенных на территории Карелии. Для исследования брали только живую больную рыбу, не менее 5 экз. с признаками болезни. Накопительные культуры бактерий получали из пораженных участков кожи, асцитной жидкости внутренних органов (печени, почек, селезенки) и крови при выраженном сепсисе. Идентификацию выполняли до рода по комплексу морфологических, тинкториальных, культуральных и биохимических признаков, регламентированных в Определителе бактерий Берджи (1997) и в соответствии с действующими Методическими указаниями по лабораторной диагностике псевдомонозов рыб [1998 (Metodicheskie ukazaniya..., 1998)].

К маркерам фенотипического полиморфизма относили факторы инвазивности, характеризующие гемолитическую активность, а также способность к биопленкообразованию и

антилизоцимную активность бактерий. Гемолитическую активность (ГА) изучали на кровяном агаре следующего состава: МПА – 100 мл, раствор глюкозы 200 г/дм<sup>3</sup> – 10 мл, стерильная дефибрированная кровь – 5 мл. Результат учитывали через 48 ч по появлению зон гемолиза вокруг колоний. Количественно, гемолитическую активность оценивали с использованием коэффициента “К”, который рассчитывали, как отношение диаметра зоны гемолиза к диаметру колонии исследуемого штамма. Интенсивность биопленкообразования (БПО) оценивали с использованием метода культивирования статистических биопленок в многолуночном полистероловом планшете “microtiter plate test” [Марданова и др., 2016 (Mardanov et al., 2016)] с последующим окрашиванием биопленок генцианом фиолетовым (crystal violet) [O’Toole and Kolter, 1998]. Для анализа активности формирования биопленки и стимуляции развития внеклеточного матрикса исследуемые штаммы предварительно засеивали на питательный агар с 1% глюкозой и термостатировали при 37±0.5°C в течение 24 ч. Результат оценивали спектрофотометрически в соответствии с изменением оптической плотности (OD) окрашенного растворителя [Stepanovic et al., 2007]. Антилизоцимную активность (АЛА) выделенных штаммов изучали по методу Бухарина О.В. с соавторами [1984 (Buharin, 1984)]. Для определения АЛА использовали спектрофотометрическое измерение реакционной смеси в диапазоне концентрации лизоцима от 1 до 10 мкг/мл. В качестве тест-

культуры использовали типовой штамм *Micrococcus lysodeikticus* (штамм N 2665 ГИСК им. Л.А. Тарасевича), обработанный трилоном Б [Комкова и др., 2016 (Komkova et al., 2016)].

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel 2020 для работы с электронными таблицами, визуализации и анализа данных.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате выполненного исследования в чистую культуру из организма исследуемых экземпляров радужной по типовым признакам (таблица) выделено 102 штамма *Pseudomonas* spp., в том числе из язвенных поражений кожи – 55 штаммов, из паренхиматозных органов – 21 штамм и из крови – 26 штаммов. Выделенные культуры обладали

оксидазной активностью. На среде Хью-Лейфсона при проведении теста окисления-ферментации (О/Ф) бактерии вызвали окисление глюкозы в аэробных условиях без ферментации, а на среде Меллера с аминокислотами лизином, орнитином и аргинином – декрбоксилировали только аргинин.

Типовые признаки рода *Pseudomonas* spp. и сходных с ними родов бактерий [Сб. инструкций по борьбе с болезнями рыб, 1998]

Type characters of the genus *Pseudomonas* spp. and similar genera of bacteria [Sb. instrukcij po bor'be s boleznymi ryb, 1998]

| Признак / Sign  | <i>Pseudomonas</i> | <i>Vibrio</i> | <i>Aeromonas</i> | <i>Plesiomonas</i> |
|---|--------------------|---------------|------------------|--------------------|
| Оксидаза / Oxidase  | +                  | +             | +                | +                  |
| Расщепление глюкозы на среде Хью-Лейфсона<br>Glucose digestion in Hugh-Leifson medium | О/–                | О/Ф           | О/Ф              | –/Ф                |
| Лизин-декарбоксилаза<br>Lysine decarboxylase  | –                  | +             | –                | +                  |
| Орнитин-декарбоксилаза<br>Ornithine decarboxylase                                     | –                  | +             | –                | +                  |
| Аргинин-декарбоксилаза<br>Arginine decarboxylase                                      | +                  | –             | –                | +                  |

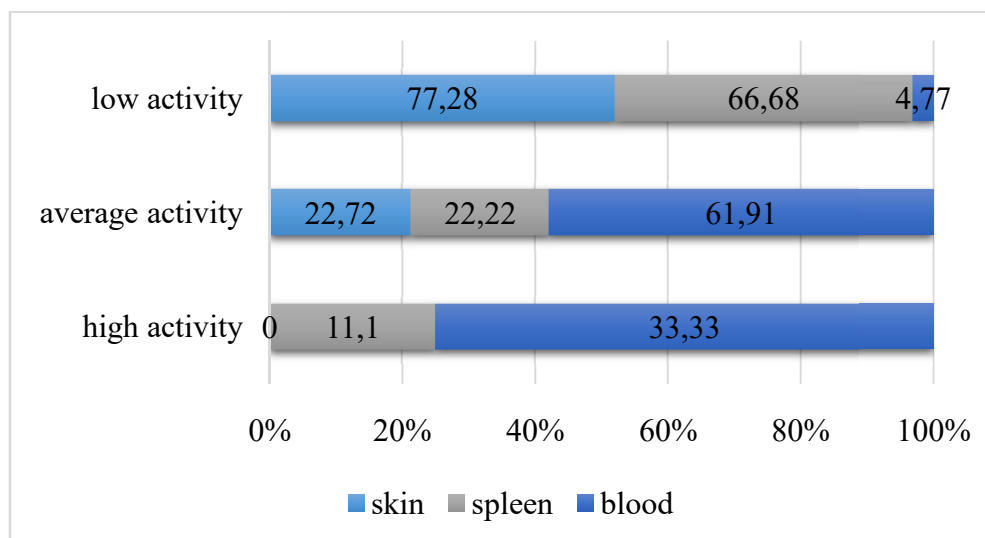
Поскольку псевдомонады рыб часто характеризуется септическим течением, то в посевах из крови и паренхиматозных органов обнаруживали обильный рост возбудителя. На агаризованных средах выделенные культуры *Pseudomonas* spp. имели выраженный внутриклеточный диморфизм. Изоляты первичного мукоидного типа формировали вторичную немуконидную форму. Из выделенных культур, наибольшее количество штаммов (53.9%) было изолировано из некротических очагов с поверхности кожи, местами переходящих в язвенные поражения. Для данных изолятов доля штаммов с гемолитической активностью составила 40.2%, с биопленкообразующей активностью – 23.6% и с антилизоцимной активностью – 43.6%. Доля штаммов *Pseudomonas* spp., выделенных из паренхиматозных органов составила 20.5%, из них на штаммы с гемолитической активностью пришлось 85.7%, а на штаммы с антилизоцимной активностью – 76.2%. *Pseudomonas* spp., изолированные из паренхиматозных органов, биопленкообразующей активностью не обладали. Доля штаммов псевдомонад, выделенных из крови радужной форели составила 25.5%, из них на штаммы с антилизоцимной активностью

пришлось 73.1%, на штаммы с биопленкообразующей активностью – 61.5%, с гемолитической активностью – 80.8% общего числа выделенных бактерий псевдомонадного комплекса.

Значения  $\alpha$ -гемолитической активности штаммов псевдомонад, выделенных с поверхности кожи, селезенки и крови радужной форели отображены на нормированной линейчатой диаграмме (рис. 1). Рассчитанные значения гемолитической активности или коэффициента “К”, как отношения диаметра зоны гемолиза к диаметру колонии исследуемого штамма позволили выделить высокоактивные штаммы, у которых величина “К” соответствовала 3 см и >, штаммы со средней активностью, для которых величина “К” находилась в диапазоне 2–3 см и штаммы с низкой гемолитической активностью и величиной “К”  $\geq 2$  см. Из 22 штаммов псевдомонад с  $\alpha$ -гемолитической активностью, выделенных из кожи, проявляли среднюю  $\alpha$ -гемолитическую активность 5 (22.72%) штаммов и низкую  $\alpha$ -гемолитическую активностью 17 (77.28%) штаммов. Среди 18 гемолитически активных штаммов *Pseudomonas* spp., которые были выделены из селезенки, 2 (11.1%) проявляли высокую

$\alpha$ -гемолитическую активность, 4 (22.22%) – среднюю и 12 (66.68%) – низкую  $\alpha$ -гемолитическую активность. Из 21 штамма гемолитически активных псевдомонад, выделен-

ных из крови, было обнаружено 7 (33.33%) высокоактивных штаммов, 13 (61.91%) штаммов со средней активностью и один штамм (4.77%) с низкой  $\alpha$ -гемолитической активностью.

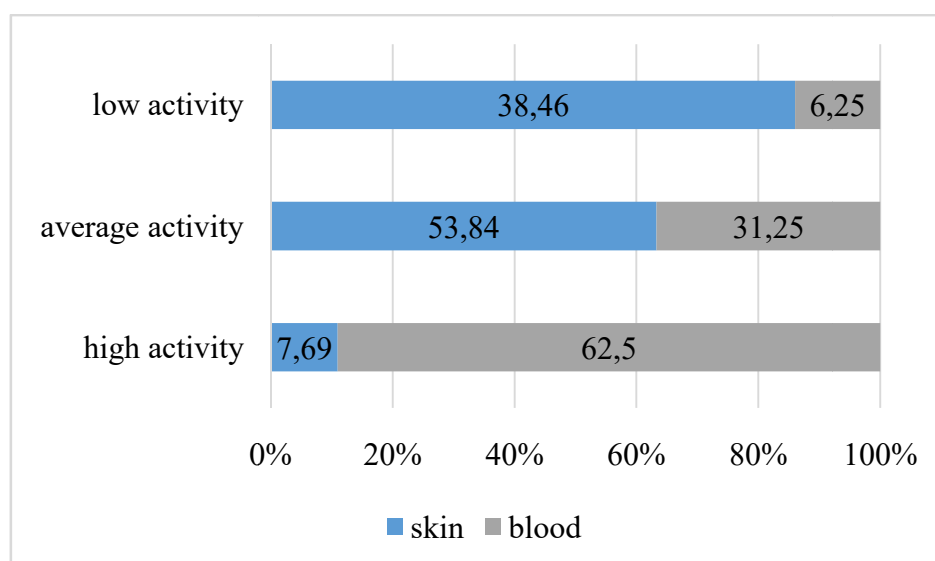


**Рис. 1.** Гемолитическая активность выделенных штаммов псевдомонад, %.

**Fig. 1.** Hemolytic activity of isolated *Pseudomonas* spp. strains, %.

Активность выделенных штаммов псевдомонад в отношении способности формировать биопленки отображена на рис. 2. По показателю БПО, если оптическая плотность (OD) культурального раствора соответствовала диапазону 0.600–0.900 е.о.п. и > – штаммы считались высокоактивными, при OD 0.300–0.600 е.о.п. – псевдомонады относились к группе штаммов со средней активностью и при OD 0.100–0.300 е.о.п. – штаммы считались низкоактивными в отношении биопленкообразова-

ния. Из 13 штаммов псевдомонад с биопленкообразующей активностью, выделенных из кожи, высокую активность проявил 1 (7.69%) штамм, среднюю активность выявили у 7 (53.84%) штаммов и низкую активность – у 5 (38.46%) штаммов. Из 16 штаммов *Pseudomonas* spp. с БПО, выделенных из крови, высокую активность проявило 10 (62.5%) штаммов, среднюю активность – 5 (31.25%) штаммов и низкую активность – 1 (6.25%) штамм.

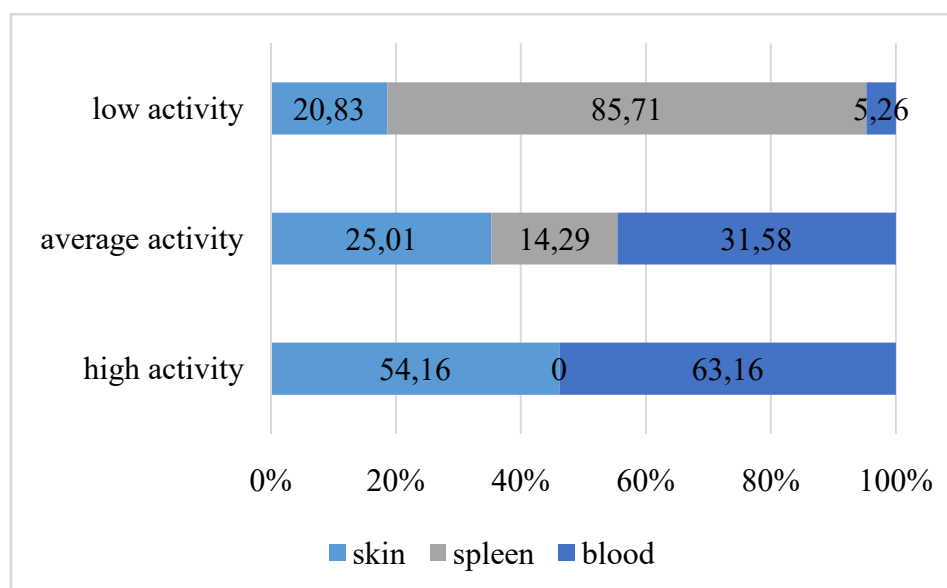


**Рис. 2.** Биопленкообразующая активность выделенных штаммов псевдомонад, %.

**Fig. 2.** Biofilm-forming activity of isolated *Pseudomonas* spp. strains, %.

Показатели антилизосимной активности *Pseudomonas* spp., выделенные из организма радужной форели, отображены на диаграмме (рис. 3). По показателю АЛА при оптической плотности (OD) культурального раствора в диапазоне 0.300–0.450 е.о.п. – штаммы приравнивались к высокоактивным, при OD 0.150–0.300 е.о.п. – к группе штаммов со средней активностью и при OD  $\geq 0.150$  – штаммы считались принадлежащие к группе с низкой антилизосимной активностью. Из 24 штаммов псевдомонад с антилизосимной активностью, выделенных из кожи, высоко-

кий уровень АЛА был выявлен у 13 (54.16%) штаммов, средние значения АЛА обнаружены у 6 (25.01%) штаммов и низкие – у 5 (20.83%) штаммов. Среди *Pseudomonas* spp. с АЛА, выделенных из селезенки, обнаружено 2 (14.29%) штамма со средней активностью и 14 (85.71%) штаммов с низкой антилизосимной активностью. Из 19 штаммов псевдомонад с АЛА, выделенных из крови, выявлено 12 (63.16%) высокоактивных штаммов, 6 (31.58%) штаммов со средней активностью и один штамм (5.26%) с низкой антилизосимной активностью.



**Рис. 3.** Антилизосимная активность выделенных штаммов псевдомонад, %.

**Fig. 3.** Antilysozyme activity of isolated *Pseudomonas* spp. strains, %.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненного исследования проведена комплексная оценка разнообразия фенотипов *Pseudomonas* spp., обнаруженных в составе контаминирующей микрофлоры *Parasalmo mykiss*. Установлено, что выделенные фенотипические варианты бактерий псевдомонадного комплекса обладают выраженной инвазийностью, которая в большей степени проявляется в виде антилизосимной и гемолитической активности. Необходимо отметить высокую долю бактерий, способных формировать биопленки. У биопленкообразующих форм, по сравнению с планктонными, развивается целый пул специфических физиологических процессов, как ответ на изменение условий окружающей среды. Это обеспечивает физиологическую и функциональную пластич-

ность многим бактериальным патогенам, выживание, а также устойчивости к широкому спектру антибактериальных препаратов, что может сильно препятствовать рациональной антибиотикотерапии псевдомонозов рыб. Выделенные фенотипы псевдомонад, в основном, поражают кожу и за счет местной инвазии проникают в кровь и вызывают сепсис. При вскрытии зараженной рыбы регистрируется бледная, увеличенная печень с участками кровоизлияний и сильно увеличенная селезенка тёмно-красного цвета. Полученные данные могут быть использованы для мониторинга возбудителей инфекций бактериальной этиологии у радужной форели, а также для разработки эффективных способов их индикации и диагностики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Басанкина В.М. Эпизоотические особенности аэромоноза рыб в условиях региона Северного Кавказа. Автореф. дисс ... канд. вет. наук. Краснодар: ФГБОУ ВО “Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина”, 2020. 23 с.
- Бухарин О.В., Усвятцов Б.Я., Малышкин А.П., Немцева Н.В. Метод определения антилизоцимной активности микроорганизмов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 1984. № 2. С. 27–28.
- Гинаяттов Н.С. Клинико-патоморфологическая характеристика псевдомоноза осетровых рыб, выращиваемых в установках замкнутого водоснабжения. Автореф. дисс ...канд. вет. наук. Краснодар: ФГБОУ ВО “Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана”, 2018. 23 с.
- Жезмер В.Ю., Галдина Е.А., Кутищева К.В., Лаврова Н.С. Контроль санитарно-бактериологического состояния водной среды в УЗВ // Сб. науч. тр. ВНИИПРХ. Индустриальное рыбоводство в замкнутых системах. М.: ВНИИПРХ, 1991. № 64. С. 14–15.
- Комкова О.П., Образцова А.М., Сидорова Н.А. Антилизоцимная активность *Escherichia coli*, выделенной на разных этапах естественной циркуляции вида // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. 2, 110–113.
- Методические указания по лабораторной диагностике псевдомнозов рыб / Сб. инструкций по борьбе с болезнями рыб. М.: Отдел маркетинга АМБ-агро. 1998. С. 152–160.
- Маннапова Р.Т. Практикум для выполнения лабораторно-практических работ: учебник. М.: Проспект, 2021. 440 с.
- Марданова А.М., Кабанов Д.А., Рудакова Н.Л., Шарипова М.Р. Биопленки: основные принципы организации и методы исследования. - Казань: К(П)ФУ, 2016. 42 с.
- Нижельская Е.И., Полозюк О.Н., Войтенко Л.Г. Диагностика и лечебно-профилактические мероприятия при болезнях рыб: учебное пособие для студентов факультета ветеринарной медицины. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 162 с.
- Определитель бактерий Берджи. М.: Мир, 1997. 1250 с.
- Сердюк А.В. Результаты предварительной оценки угрозы инфекционных заболеваний в полярной аквакультуре лососевых // Науч.-техн. пробл. марикультуры в стране: Тез. докл. Всес. конф., 16–20 мая, 1990. Владивосток. 1989. С. 186–187.
- Сидорова Н.А., Обухова Е.С. Антагонистическая активность оригинальных штаммов *Pseudomonas alcaligenes* и *Pseudomonas cichorii* // Материалы Всероссийской научно-практической конференции “От микроскопа до нанотехнологий”. Санкт-Петербург: ВМедА, 2013. С. 61–62.
- Altinok I., Kayis S., Capkin, E. *Pseudomonas putida* infection in rainbow trout // *Aquaculture*. 2006. № 261. P. 850–855.
- Altinok I., Baltab F., Capkin E., Kayis S. Disease of rainbow trout caused by *Pseudomonas luteola* // *Aquaculture*. 2007. № 273. P. 393–397.
- Finck-Barbançon V., Goranson J., Zhu L., Sawa T., Wiener-Kronish J.P. et al. ExoU expression by *Pseudomonas aeruginosa* correlates with acute cytotoxicity and epithelial injury // *Mol. Microbiol.* 1997. № 25. P. 547–557.
- Furushita M., Shiba T., Maeda T., Yahata M., Kaneoka A. et al. Similarity of tetracycline resistance genes isolated from fish farm bacteria to those from clinical isolates // *Appl. Environ. Microbiol.* 2003. № 69. P. 5336–5342.
- Hatai K., Egusa S., Nakajima M., Chikahata H. *Pseudomonas chlororaphis* as a fish pathogen // Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. 1975. № 41(11). P. 1203.
- LPSN “List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature” at. <https://lpsn.dsmz.de>.
- O'Toole G.A., Kolter R. Initiation of biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* WCS365 proceeds via multiple, convergent signalling pathways: a genetic analysis. // *Mol Microbiol.* 1998. Vol. 28. № 3. P. 449–461.
- Rojo E. Carbon catabolite repression in *Pseudomonas*: optimizing metabolic versatility and interactions with the environment // *FEMS Microbiol. Rev.* 2010. Vol. 34. № 5. P. 658–684.
- Palleroni N.J. The *Pseudomonas* story // *Environ Microbiol.* 2010. Vol. 12. № 6. P. 1377–1383.
- Puchalka J., Oberhardt M.A., Godinho M., et al. Genome-scale reconstruction and analysis of the *Pseudomonas putida* KT2440 metabolic network facilitates applications in biotechnology // *PLoS Comput Biol.* 2008. Vol. 4. № 10. P. 100–121.
- Rhodes G., Swings J., McGann P., Hiney M., Smith P. Distribution of oxytetracycline resistance plasmids between *Aeromonads* in hospital and aquaculture environments: Implication of Tn1721 in dissemination of the tetracycline resistance determinant Tet A // *Appl. Environ. Microbiol.* 2000. № 66. P. 3883–3890.
- Spiers A.J., Buckling A., Rainey P.B. The causes of *Pseudomonas* diversity // *Microbiology*. 2000. 146, 2345–2350.
- Stepanovic S., Vukovi D., Hola V. Quantification of biofilm in microtiterplates: overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by *Staphylococci* // *APMIS*. 2007. № 115. P. 891–899.
- Sorum H. Antimicrobial drug resistance in fish pathogens // Antimicrobial Resistance in Bacteria of Animal Origin; Aarestrup, F.M., Ed.; ASM Press: Washington, DC, USA. 2006. P. 213–238.
- Wakabayashi H. Egusa S. Characteristics of *Pseudomonas* sp. From an epizootic of pond-cultured eels (*A. japonica*) // *Bull. Japan Soc. Scient. Fish.* 1972. № 38. P. 577–587.

## REFERENCES

- Altinok I., Baltab F., Capkin E., Kayis S. Disease of rainbow trout caused by *Pseudomonas luteola*. *Aquaculture*, 2007, no. 273, pp. 393–397.
- Altinok I., Kayis S., Capkin E. *Pseudomonas putida* infection in rainbow trout. *Aquaculture*, 2006, no. 261, pp. 850–855.
- Basankina V.M. Epizooticheskie osobennosti aeromonozov ryb v usloviyakh regiona Severnogo Kavkaza [Epizootic features of aeromonosis of fish in the conditions of the North Caucasus region]. *Avtoref. diss ... kand. vet. nauk.* Krasnodar, 2020. 23 p. (In Russian)
- Buharin O.V., Usvyacov B.Ya., Malyshev A.P., Nemceva N.V. Metod opredeleniya antilizocimnoj aktivnosti mikroorganizmov [Method for determining the antilysozyme activity of microorganisms]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunologii*, 1984, no. 2, pp. 27–28. (In Russian)
- Finck-Barbançon V., Goranson J., Zhu L., Sawa T., Wiener-Kronish J.P. et al. ExoU expression by *Pseudomonas aeruginosa* correlates with acute cytotoxicity and epithelial injury. *Mol. Microbiol.* 1997, no. 25, pp. 547–557.
- Furushita M., Shiba T., Maeda T., Yahata M., Kaneoka A. et al. Similarity of tetracycline resistance genes isolated from fish farm bacteria to those from clinical isolates. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2003, no. 69, pp. 5336–5342.
- Ginayatov N.S. Kliniko-patomorfologicheskaya harakteristika psevdomonozov osetrovykh ryb, vyrashchivaemykh v ustanovkah zamknutogo vodosnabzheniya [Clinical and pathological characteristics of pseudomonosis of sturgeon fish grown in closed water supply installations]. *Avtoref. diss ... kand. vet. nauk.* Krasnodar, 2018. 23 p. (In Russian)
- Hatai K., Egusa S., Nakajima M., Chikahata H. *Pseudomonas chlororaphis* as a fish pathogen. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1975, no. 41(11), p. 1203.
- Komkova O.P., Obrazcova A.M., Sidorova N.A. Antilizocimnaya aktivnost' *Escherichia coli*, vydelennoj na raznykh etapah estestvennoj cirkulyacii vida [Antilysozyme activity of *Escherichia coli* isolated at different stages of natural circulation of the species]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 2(155), pp. 110–113. (In Russian)
- Mannapova R.T. Praktikum dlya vypolneniya laboratorno-prakticheskikh rabot [Workshop to perform laboratory and practical work]. M., Prospekt, 2021, 440 p. (In Russian)
- Mardanov A.M., Kabanov D.A., Rudakova N.L., Sharipova M.R. Bioplenki: osnovnye principy organizacii i metody issledovaniya [Bioplenki: Basic principles of organization and research methods] Kazan', K(P)FU, 2016, 42 p. (in Russian)
- Metodicheskie ukazaniya po laboratornoj diagnostike psevdomonozov ryb [Methodical guidelines for laboratory diagnostics of fish pseudomonosis]. *Sb. instrukcij po bor'be s boleznyami ryb*. M., Otdel marketinga AMB-agro, 1998, pp. 152–160. (In Russian)
- Nizhel'skaya E.I., Polozyuk O.N., Vojtenko L.G. Diagnostika i lechebno-profilakticheskie meropriyatiya pri boleznyakh ryb: uchebnoe posobie dlya studentov fakul'teta veterinarnoj mediciny [Diagnosis and medical and preventive measures for fish diseases: Tutorial for students of the faculty of veterinary medicine] Persyanovskij, Donskoj GAU, 2019, 162 p. (In Russian)
- O'Toole G.A., Kolter R. Initiation of biofilm formation in *Pseudomonas fluorescens* WCS365 proceeds via multiple, convergent signalling pathways: a genetic analysis. *Mol. Microbiol.*, 1998, vol. 28, no. 3, pp. 449–461.
- Palleroni N.J. The *Pseudomonas* story. *Environ. Microbiol.*, 2010, vol. 12, no. 6, pp. 1377–1383.
- Puchalka J., Oberhardt M.A., Godinho M., et al. Genome-scale reconstruction and analysis of the *Pseudomonas putida* KT2440 metabolic network facilitates applications in biotechnology. *PLoS Comput. Biol.*, 2008, vol. 4, no. 10, pp. 100–121.
- Rhodes G., Huys G., Swings J., McGann P., Hiney M., Smith P. Distribution of oxytetracycline resistance plasmids between *Aeromonads* in hospital and aquaculture environments: Implication of Tn1721 in dissemination of the tetracycline resistance determinant Tet A. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2000, no. 66, pp. 3883–3890.
- Rojas E. Carbon catabolite repression in *Pseudomonas*: optimizing metabolic versatility and interactions with the environment. *FEMS Microbiol. Rev.*, 2010, vol. 34, no. 5, pp. 658–684.
- Serdyuk A.V. Rezul'taty predvaritel'noj ocenki ugrozy infekcionnykh zabolevanij v polyarnoj akvakul'ture lososevykh [Results of preliminary assessment of the threat of infectious diseases in the polar aquaculture of salmon] *Nauch.-tekhn. probl. marikul'tury v strane: Tez. dokl. Vses. konf., 16–20 maya, 1990*. Vladivostok, 1990, pp. 186–187. (In Russian)
- Sidorova N.A., Obuhova E.S. Antagonisticheskaya aktivnost' original'nykh shtamov *Pseudomonas alcaligenes* i *Pseudomonas cichorii* [Antagonistic activity of original strains *Pseudomonas alcaligenes* and *Pseudomonas cichorii*]. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Ot mikroskopa do nanotekhnologii"*. Sankt-Peterburg: VMedA, 2013, pp. 61–62. (In Russian)
- Spiers A.J., Buckling A., Rainey P.B. The causes of *Pseudomonas* diversity. *Microbiology*, 2000, vol. 146, pp. 2345–2350.
- Stepanovic S., Vukovi D., Hola V. Quantification of biofilm in microtiterplates: overview of testing conditions and practical recommendations for assessment of biofilm production by *Staphylococci*. *APMIS*, 2007, no. 115, pp. 891–899.
- Sorum H. Antimicrobial drug resistance in fish pathogens. *Antimicrobial Resistance in Bacteria of Animal Origin*. Washington, ASM Press. 2006, pp. 213–238.



- Wakabayashi H. Egusa S. Characteristics of *Pseudomonas* sp. From an epizootic of pond-cultured eels (*A. japonica*). *Bull. Japan Soc. Scient. Fish.*, 1972, no. 38, pp. 577–587.
- Zhezmer V.Yu, Galdina E.A., Kutishcheva K.V., Lavrova N.S. Kontrol' sanitarno-bakteriologicheskogo sostoyaniya vodnoj sredy v UZV [Control of the sanitary and bacteriological state of the aquatic environment in the RWI]. *Sb. nauch. tr. VNIIPRH. Industrial'noe rybovodstvo v zamknutyh sistemah*, M., VNIIPRH, no. 64, pp. 14–15. (In Russian)

## **PHENOTYPIC DIVERSITY OF BACTERIA OF THE PSEUDOMONAS COMPLEX, ISOLATED FROM *PARASALMO MYKISS* Walb., ACCORDING TO THE FACTORS OF INVASIVENESS**

**A. I. Savushkin, N. A. Sidorova**

*Petrozavodsk State University*

*185910 Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, e-mail: fagafon@yandex.ru*

The article presents the results of studies of the phenotypic properties of bacteria of the pseudomonas complex group isolated from the microflora of 57 individuals of rainbow trout *Parasalmo mykiss* Walbaum, 1792, aged 1+ and 2+, selected for a planned study from reservoirs of fishery importance located in Karelia. The emphasis on the phenotypic properties of isolated microorganisms is associated with the increasing epizootic role of virulent strains of *Pseudomonas aureofaciens*, *Ps. chlororaphis*, *Ps. fluorescens*, *Ps. putida* and others in the development of infectious diseases of salmon fish species. Isolation, identification and study of phenotypic features of isolated pseudomonas cultures were performed according to the recommendations for laboratory diagnostics of *Pseudomonas* for fish. In parallel, to analyze the degree of invasiveness, the hemolytic activity (HA), as well as the ability to biofilm formation (BPO) and the antilysozyme activity (ALA) of bacteria were evaluated. It was found that the isolated phenotypic variants of pseudomonas bacteria have a pronounced invasiveness, which is more manifested in the form of hemolytic and anti-lysozyme activity.

*Keywords:* pseudomonads, phenotypic diversity, invasiveness, rainbow trout microflora

## Водные беспозвоночные

УДК 594-14:595.42(204)

### ВЛИЯНИЕ ИНВАЗИВНОГО ВИДА *UNIONICOLA YPSILOPHORA* (BONZ, 1783) НА МОРФО- И ИММУНОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛЛЮСКА *ANODONTA CYGNEA* (L.) РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А. С. Соколова\*, В. Р. Микряков, Д. В. Микряков, С. В. Кузьмичева

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, \*e-mail: Aleksandrasokol@rambler.ru

Поступила в редакцию 4.02.2022

Исследовано влияние инвазивного биологического вида Рыбинского водохранилища – водного клеща *Unionicola ypsilophora* (Bonz, 1783) на морфо- и иммунофизиологические показатели зараженных двустворчатых моллюсков *Anodonta cygnea* (L., 1758). Показана зависимость заражения моллюсков униониколидами от возраста, размера, коэффициента упитанности, соматических индексов жабр, ноги, содержания иммунных комплексов и малонового диальдегида, одного из конечных продуктов перекисного окисления липидов. Показатели размера, общей массы, содержания иммунных комплексов и малонового диальдегида у зараженных особей в возрасте 7–10 лет значительно превышали таковые незараженных младшего возраста 4–5 лет. Сделан вывод, что с возрастом снижается уровень врожденных механизмов антикарицидного иммунитета *A. cygnea* к униониколидами, что приводит к массовому заражению и гибели старших возрастных групп моллюсков. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования скорости распространения биологической инвазии *U. ypsilophora* в водоемах.

**Ключевые слова:** водной клещ *Unionicola ypsilophora*, двустворчатый моллюск *Anodonta cygnea*, Рыбинское водохранилище, паразитарная инвазия, антикарицидный иммунитет, иммунные комплексы, перекисное окисление липидов.

DOI: 10.47021/0320-3557-2022-58-64

#### ВВЕДЕНИЕ

Проблема биологических инвазий – серьёзная угроза для сохранения биологического разнообразия. Инвазийные виды могут являться переносчиками возбудителей заболеваний аборигенных видов или сами вызывать их заболевания. Проникновение чужеродных паразитарных организмов может инициировать вспышку эпизоотии заболевания у аборигенных видов и гибель зараженных хозяев [Дгебуадзе, 2002 (Dhebuadze, 2002)].

В 2012–2013 гг. при исследовании паразитофауны поселений моллюсков *Anodonta cygnea* из разных участков Рыбинского водохранилища был обнаружен новый инвазивный вид водяных клещей – *Unionicola ypsilophora* (Bonz, 1783). Данный паразит был выявлен почти на половине исследуемых станций. Наиболее высокое заражение зафиксировано у моллюсков, обитающих в акватории канала, ведущего от ихтиологического корпуса ИБВВ РАН к Рыбинскому водохранилищу [Жаворонкова, Песня, 2013 (Zhavoronkova, Pesnya, 2013)].

Водный клещ *U. ypsilophora* относится к классу паукообразных паразитов *Arachnidae* [Mitchell, 1955; Backer, 1977; Вайнштейн, 1980 (Weinstein, 1980); Hevers, 1980; Тузовский, 1987 (Tuzovskij, 1987); Edvars, Viridine, 2006; di Sabatino et al., 2008; Саенко, Балан, 2010 (Saenko, Balan, 2010); Столбов, Воронова, 2019

(Stolbov, Voronova, 2019)]. В отличие от простейших паразитов, подобно таковым многоклеточным (гельминтов), имеет сложный цикл онтогенетического развития, состоящих из 7 стадий: кроме имаго, яйцо, предличинка, паразитическая личинка, протонимфа, дейстони́мфа, тритонимфа и имаго [Mitchell, 1955; Hevers, 1980; Вайнштейн, 1980 (Weinstein, 1980); Тузовский, 1987 (Tuzovskij, 1987); Жаворонкова, Песня, 2013 (Zhavoronkova, Pesnya, 2013)]. На начальных этапах развития их промежуточные хозяева – околотовные насекомые (хируномиды и комары), а дефинитивные на стадиях нимфа и имаго – пресноводные моллюски *Anodonta cygnea* [Вайнштейн, 1980 (Weinstein, 1980); Hevers, 1980; Жаворонкова, Песня 2013 (Zhavoronkova, Pesnya, 2013)].

Дефинитивного хозяина *U. ypsilophora* используют не только в качестве среды обитания, откладки яиц и источника питания, но и для обеспечения развития новой генерации униониколид энергетическим субстратом [Davids, 1973; Backer, 1977; Hevers, 1980; Edvars Viridine, 2006 и др.]. У моллюсков они вызывают повреждение тканей организма [Backer, 1977], считаются этиологической причиной массовой гибели унионид [Mitchell, 1955; Силина, 2011 (Silina, 2011); Янович и др., 2012 (Yanovich et al., 2012); Столбов, Вороно-

ва, 2019 (Stolbov, Voronova, 2019) и др.]. Клещевыми паразитами чаще болеют ослабленные, крупноразмерные моллюски рода *Anodonta*, обитающие в прибрежных слабо текущих и стоячих водоемах [Mitchell, 1955; Вайнштейн, 1980 (Weinstein, 1980); Жаворонкова, Песня, 2013 (Zhavoronkova, Pesnya, 2013); Столбов, Воронова, 2019 (Stolbov, Voronova, 2019) и др.].

Вместе с тем следует отметить, что сведения о патогенном влиянии *U. ypsilophora* на механизмы, обеспечивающие устойчивость моллюсков к униониколидам в доступной ли-

тературе, отсутствуют. Исходя из этого нами выдвинуто положение, что у находящихся на разных этапах онтогенеза моллюсков иммунитет к *U. ypsilophora* зависит от структурно-функционального состояния морфо- и иммунофизиологических механизмов гомеостаза.

В целях понимания повреждающего действия униониколида на механизмы естественного иммунитета двустворчатого моллюска проведено сравнительное исследование морфометрических и иммунофизиологических показателей инвазированных и неинвазированных клещами унионид.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили на 40 особях двустворчатых моллюсков *A. cygnea* из акватории канала, ведущего от ихтиологического корпуса ИБВВ РАН к Рыбинскому водохранилищу. Отлов моллюсков проводили вручную на глубине 0.3–0.6 метра в ноябре 2017 г.

Морфометрические признаки определяли по данным измерения длины, высоты раковины, общей массы жабр и ноги, возраста, согласно общепринятым методикам [Цалолыхин, 2004 (Tsalolikhin, 2004)]. Одновременно измеряли коэффициенты упитанности по формуле Фултона [Правдин, 1966 (Pravdin, 1966)]  $K = 100 \text{ м/L}^3$ : где  $K$  – коэффициент упитанности,  $L^3$  – длина тела, а также органо-соматические индексы жабр и ноги, на основе анализа отношение массы органа к весу тела, согласно формуле С.С. Шварца (1958) индекс = масса органа / вес тела  $\times 100$ .

Иммунофизиологические показатели оценивали по содержанию в гомогенатах тканей жабр и ноги неспецифических иммунных комплексов (ИК) и продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Содержание ИК устанавливали спектрофотометрически при длине волны 450 нм методом селективной преципитации с 4% поли-

этиленгликолем молекулярной массой 6000, как рекомендовано ранее [Гриневич, Алферов, 1981 (Grinevich, Alferov, 1981)].

Интенсивности ПОЛ определяли по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА устанавливали по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней окрашенный комплекс. Интенсивность окрашивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при 535 нм [Андреева и др., 1988 (Andreeva et al., 1988)]. Содержание МДА вычисляли с учётом коэффициента молярной экстинкции:  $1.56 \times 10^5 / (\text{М см})$  и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Зараженность моллюсков *U. ypsilophora* устанавливали с помощью бинокулярного микроскопа МБС-9 и исследовательского микроскопа МБИ-3. Видовую принадлежность клещей устанавливали с помощью определителя [Соколов, 1940 (Sokolov, 1940)].

Статистическую обработку результатов количественных признаков проводили согласно стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ (Statistika) с использованием  $t$ -теста ( $p < 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное исследование уровня заражения *A. cygnea* водными клещами показало, что *U. ypsilophora* обнаружены у 47.5% особей. Анализ полученных результатов показал, что это особи старшего возраста (7–10 лет), а младшего возраста (4–5 лет) оказались устойчивыми. Зараженные и незараженные *A. cygnea* отличались друг от друга не только возрастом, но величинами морфометрических и иммунофизиологических показателей (см. таблицу).

У моллюсков старшей возрастной группы были значительно выше размерно-весовые характеристики: длина раковины, масса тела, жабр и ноги, тогда как *A. cygnea* младшей возрастной группы отличались высокими показателями коэффициента упитанности и соматических индексов жабр и ноги.

Содержание ИК и МДА в тканях ноги и жабр показало более высокие величины у зараженных особей по сравнению с незараженными.

## Морфометрические и иммунофизиологические показатели моллюсков

## Morphometric and immunophysiological indicators of mollusks

| Показатели<br>Indicators               | Здоровые<br>Healthy | Зараженные<br>Infected |
|--|---------------------|------------------------|
| N, экз.<br>N, ind.                     | 21                  | 19                     |
| Возраст<br>Age                         | 4–5+                | 7–10+                  |
| L раковины, мм<br>L shell, mm          | 77.3±4.5            | 117.2±4.3*             |
| Общая m, г<br>Total m, g               | 56.58±8.98          | 144.73±14.38*          |
| m жабр, г<br>m gills, g                | 1.93±0.33           | 4.68±0.51*             |
| m ноги, г<br>m legs, g                 | 2.99±0.40           | 5.02±0.38*             |
| К. упитанности<br>K. Refinance         | 12.28±1.52          | 8.99±0.95              |
| Соматический индекс<br>Somatic index   | 3.41±0.65           | 3.23±0.26              |
| жабр<br>gills                          | 5.28±0.39           | 3.46±0.03              |
| ноги<br>legs                           | 1.03±0.77           | 1.74±1.41              |
| ИК жабр, ус. ед.<br>IK gills, con. un. | 1.31±0.73           | 6.93±2.16*             |
| ИК ноги, ус. ед.<br>IK legs, con. un.  | 7.79±2.41           | 12.78±1.49             |
| МДА жабр, Нмоль/г<br>MDA gills, Nmol/g | 7.04±2.08           | 22.27±6.33*            |
| МДА ноги, Нмоль/г<br>MDA legs, Nmol/g  |                     |                        |

Примечание. “\*” – достоверные отличия при  $p \leq 0.05$ .

Note. “\*” – significant differences at  $p \leq 0.05$ .

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Установленные различия исследуемых показателей свидетельствуют, что иммунитет *A. cygnea* к паукообразным паразитам зависит от возраста, морфофункционального состояния механизмов иммунной защиты и интенсивности метаболизма, регулируемой соотношением анаболической и катаболической фазами обмена веществ, обеспечиваемой прооксидант-антиоксидантной системами.

Известно, что ИК – комплексы, состоящие из антиген-антитело и связанных с ними компонентов системы комплемента, играют важную роль в процессах регуляции иммунных реакций, элиминации ксенобиотиков из организма и поддержании иммунофизиологического гомеостаза. При насыщении организма чужеродными телами, в том числе ксенобиотиками и инфекционными агентами, происходит избыточное образование ИК вследствие снижения клиринговой функции клеток фагоцитарной системы [Логонов и др., 1990 (Loginov et al., 1990); Ройт и др., 2000 (Roit et al., 2000; Койхо и др., 2008 (Kojho et al., 2008)]. Повышенный уровень ИК является фактором, вызывающим супрессию меха-

низмов иммунного гомеостаза и неконтролируемые патологические процессы [Cohen, Ward, 1979; Микряков и др., 2001 (Mikryakov et al., 2001)]. По-видимому, повышенные показатели ИК у зараженных моллюсков – одна из причин снижения врожденных механизмов антиакарицидного иммунитета.

Одновременно с увеличением содержания ИК в организме инвазированных анадонт установлены высокие величины МДА – одного из высокотоксичных продуктов ПОЛ. Известно, что активация ПОЛ – интегральный показатель, отражающий нарушение окислительно-восстановительного баланса. Повышение интенсивности ПОЛ происходит под воздействием неблагоприятных для жизнедеятельности факторов биотической и абиотической природы, в том числе патогенных организмов (паразиты) и ксенобиотиков [Меньшикова и др., 2008 (Men'shikova et al., 2008); Микряков и др., 2001, 2011 (Mikryakov et al., 2001, 2011); Silkina et al., 2019 и др.]. Известно, что конечные продукты липидопероксидации, относящиеся к высокотоксичным соединениям, вызывают деполимеризацию крупных белковых молекул

ДНК, нарушение сульфгидрильных антиоксидантов, модификацию липидного слоя клеточных мембран [Зенков и др., 1999 (Zenkov et al., 1999)]. Вследствие этого происходит повреждение образования митохондриями аденозинтрифосфата (АТФ), одного из важных энергетических субстратов (соединений), необходимых для жизнедеятельности клеток, морфогенеза, обеспечения темпов роста, развития и жизнедеятельности целостного организма [Журавлев, Пантюшенко, 1989 (Zhuravlev, Pantyushenko, 1989); Кольтовер, 2000 (Kol'tover, 2000) и др.]. Индуцируемое токсическими формами кислорода ускорение процессов ПОЛ [Меньшикова и др., 2008 (Men'shikova et al., 2008)] приводит к снижению содержания антиоксидантных ферментов, дистрофическим изменениям в тканях и органах, истощению организма, и как следствие, снижению адаптивных функций к фенотипу организма [Скулачев, 2009 (Skulachev, 2009)].

Высокие уровни содержания ИК и МДА в гомогенатах жабр, ноги и низкие коэффициенты упитанности органосоматических индексов у инвазированных особей, свидетельствуют о многостороннем патогенном влиянии *U. ypsilophora* на дефинитивного хозяина. Униониколиты, подобно возбудителям гельминтозных заболеваний животных и растений, в том числе и человека [Шульц, Гвоздев, 1970 (Shul'c, Gvozdev, 1970)], вызывают разрушение барьерной функции врожденных механизмов антиакрицидного иммунитета; дисрегуляцию обмена веществ; изменение соотношения между анаболической и катаболической фазами метаболизма; индуцируют активацию процессов окислительного стресса, дистрофические изменения в тканях и органах. Все вышеперечисленное является причиной супрессии активности врожденных механизмов иммунной защиты, истощения организма и гибели дефинитивных хозяев.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа представляет новые данные о воздействии паразита двусторчатых моллюсков *U. ypsilophora* на механизмы естественного иммунитета и морфофункциональное состояние *A. cygnea*. Выявленные различия морфометрических и иммунофизиологических показателей у пораженных и иммунных моллюсков позволяют заключить, что иммунитет *A. cygnea* к униониколитам зависит от возраста и морфофункционального состояния иммунофизиологических механизмов гомеостаза двусторчатых моллюсков. Клещи *U. ypsilophora* поражают старшие возрастные

группы моллюсков и оказывают многостороннее патогенное влияние на их организм. У инвазированных особей они вызывают дисрегуляцию метаболических функций, синтез высокотоксичных продуктов ПОЛ, дистрофические и атрофические процессы в тканях и органах, истощение механизмов иммунной защиты. Полученные результаты могут стать основой для будущих исследований по прогнозированию уровня заражения колоний моллюсков *A. cygnea* и скорости распространения инвазивного биологического вида *U. ypsilophora* в водоемах.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность к.б.н. н.с. О. Д. Жаворонковой (ИБВВ РАН) за консультацию при проведении исследований.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 121050500046-8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Вайнштейн Б.А. Определение личинок водяных клещей // Общая часть. Л.: Наука, 1980. С. 29–41.
- Гриневич Ю.А., Алферов А.Н. Определение иммунных комплексов в крови онкологических больных // Лаб. дело. 1981. № 8. С. 493–496.
- Дгебуадзе Ю.Ю. Проблемы инвазий чужеродных организмов // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. М.: МСОП; ИПЭЭ РАН, 2002. С. 11–14.
- Жаворонкова О.Д., Песня Д.С. Некоторые аспекты биологии и экологии водного клеща *Unionicola Ypsilophora* (Bonz, 1783) (*Acariformes: Hydrachnidia*) в Рыбинском водохранилище // Материалы V Всероссийского симпозиума по амфибиатическим и водным насекомым. Ярославль: Филигрань, 2013. 57 с.
- Журавлев А.И., Пантюшенко В.Т. Свободнорадикальная биология. Москва: Моск. вет. акад. им. К.И. Скрябина, 1989. 58 с.
- Зенков Н.К., Меньшикова Е.Б., Вольский Н.Н., Козлов В.А. Внутриклеточный окислительный стресс и апоптоз // Успехи современной биологии. 1999. Т. 119, № 5. С. 440–450.
- Койхо Р., Саншайн Д., Бенджамини Э. Иммунология: учебное пособие. М.: Академия, 2008. 368 с.
- Кольтовер В.К. Свободнорадикальная теория старения: исторический очерк // Успехи геронтологии. 2000. № 4. С. 33–40.

- Логинов С.И., Смирнов П.Н., Трунов А.Н. Иммунные комплексы у животных и человека: норма и патология. Новосибирск: РАСХН, 1999. 144 с.
- Меньшикова Е.Б., Зенков Н.К., Лапкин В.З. и др. Окислительный стресс: патологические состояния и заболевания. Новосибирск: АРТА, 2008. 284 с.
- Метлицкий Л.В., Озерецковская О.Л., Кораблева Н.П. и др. Биохимия иммунитета, покоя, старения растений. Москва: Наука, 1984. 264 с.
- Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А. и др. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 126 с.
- Микряков В.Р., Силкина Н.И., Микряков Д.В. Влияние антропогенного загрязнения на иммунологические и биохимические механизмы поддержания гомеостаза у рыб Черного моря // Биология моря. 2011. Т. 37, № 2. С. 142–148.
- Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М. Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
- Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. М.: Мир, 2000. 592 с.
- Саенко Е.М., Балан И.В. Первые данные по взаимоотношениям водяных клещей рода *Unionicola* и пресноводных двустворчатых моллюсков (*Bivalvia: Unionidae*) Хинганского заповедника и прилегающих территорий // Бюллетень Дальневосточного малакологического общества. 2010. Т. 14. С. 61–66.
- Силина А.Е. Клещевые паразитозы и массовая гибель беззубок (*Mollusca*) в затоне Матырского водохранилища в 2011 году // Материалы V юбилейной научно-практической конференции памяти проф. В.А. Ромашова. Воронеж: "Артефакт", 2011. 64 с.
- Скулачев В.П. Новые сведения о биохимическом механизме запрограммированного старения организма и антиоксидантной защите митохондрий // Биохимия. 2009. Т. 74, вып. 12. С. 1718–1721.
- Соколов И.И. *Hydracarina* – водяные клещи (ч. 1: *Hydrachnellae*) // Фауна СССР. Паукообразные. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. Т. 5, вып. 2. 511 с.
- Столбов В.А., Воронова К.П. Зараженность моллюсков (*Bivalvia: Unionidae*) водяными клещами рода *Unionicola* (*Acari: Hydrachnidia: Unionicolidae*) в водоемах юга Западной Сибири // Паразитология. 2019. Т. 53, № 3. С. 220–229.
- Тузовский П.В. *Hydrachnidia*. Водяные клещи // Определитель пресноводных беспозвоночных России ЗИН РАН. Санкт-Петербург, 1997. С. 13–105.
- Цалолыхин С.Я. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб.: Наука, 2004. Т. 6. 528 с.
- Шварца С.С. Метод морфо-физиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных // Зоол. журн. 1958. Т. 37, № 2. С. 161–173.
- Шульц Р.С., Гвоздев В.В. Основы общей гельминтологии. Москва: Наука, 1970. 309 с.
- Янович Л.Н., Шевчук Т.В., Пампура М.М. Морфологічні особливості та поширення кліщів роду *Unionicola* (*Acari: Hydracarina: Unionicolidae*) – паразитів перліницевих (*Mollusca: Bivalvia: Unionidae*) у річкових басейнах України // Вісник Запорізького Національного Університету. 2012. Т. 2. С. 47–56.
- Baker R.A., Channabasavanna G.P., Viraktamath C.A. Recent work on *Unionicolid* mites (*Acari: Unionicolidae*) parasitic in freshwater bivalve mollusks // In. Progress in Acarology. 1989. Vol. 1. P. 417–418.
- Cohen P.A., Ward R.T. Mechanisms of Immunopathology. New York, 1979. 358 p.
- Davids C. The relation between mites of the genus *Unionicola* and the mussels *Anodonta* and *Unio* // Hydrobiologia. 1973. Vol. 41. № 1. P. 37–44.
- Di Sabatino A, Smit H., Gerecke R., Goldschmidt T., Matsumoto N., Cicolani B. Global diversity of water mites (*Acari, Hydrachnidia; Arachnida*) in freshwater // Hydrobiologia. 2008. Vol. 595. P. 303–315.
- Edwards D.D., Vidrine M.F. Patterns of species richness among assemblages of *Unionicola* spp. (*Acari: Unionicolidae*) inhabiting freshwater mussel (*Bivalvia: Unionoida*) of North America // Journal of Parasitology. 2013. Vol. 99. № 2. P. 212–217.
- Hevers V.J. Biologisch – ökologische Untersuchungen zum Entwicklungszyklus der in Deutschland auftretenden *Unionicola* Arten (*Hydrachnellae, Acari*) // Archiv für Hydrobiologie. 1980. Vol. 52. № 3. P. 324–327.
- Mitchell R.D. Anatomy, life history, and evolution of the mites parasitizing fresh-water mussels // Miscellaneous public. Museum of Zool., University of Michigan. 1955. Vol. 89. P. 1–28.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Sokolova A.S. Influence of Anthropogenic Contamination on the Content of Immune Complexes and Lipids and on the Oxidative Processes in *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846) // Hydrobiological Journal. 2019. Vol. 55. № 3. P. 53–58.

#### REFERENCES

- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A. Modification of methods for determining lipid peroxide in test with Tobarbituric Acid. *Laboratornoe delo*, 1988, no. 11, pp. 41–43.
- Baker R.A., Channabasavanna G.P., Viraktamath C.A. Recent work on *Unionicolid* mites (*Acari: Unionicolidae*) parasitic in freshwater bivalve mollusks. In. *Progress in Acarology*, 1989, vol. 1, pp. 417–418.
- Calolihin S.Ya. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territorij*. SPb.: Nauka, 2004, vol. 6, 528 p.
- Cohen P.A., Ward R.T. Mechanisms of Immunopathology. New York, 1979. 358 p.

- Dgebuadze Yu.Yu. Problems of invasions of alien organisms. *Ekologicheskaya bezopasnost' i invazii chuzherodnykh organizmov*. M.: MSOP; IPEE RAN, 2002, pp. 11–14.
- Davids C. The relation between mites of the genus *Unionicola* and the mussels *Anodonta* and *Unio*. *Hydrobiologia*, 1973, vol. 41, no. 1, pp. 37–44.
- Di Sabatino A., Smit H., Gerecke R., Goldschmidt T., Matsumoto N., Cicolani B. Global diversity of water mites (*Acari*, *Hydrachnidia*; *Arachnida*) in freshwater. *Hydrobiologia*, 2008, vol. 595, pp. 303–315.
- Edwards D.D., Vidrine M.F. Patterns of species richness among assemblages of *Unionicola* spp. (*Acari: Unionicolidae*) inhabiting freshwater mussel (*Bivalvia: Unionoida*) of North America. *Journal of Parasitology*, 2013, vol. 99, no. 2, pp. 212–217.
- Grinevich Yu.A., Alferov A.N. Definition of immune complexes in the blood of oncological patients. *Laboratornoye delo*, 1981, no. 8, pp. 493–496.
- Hevers V.J. Biologisch – ökologische Untersuchungen zum Entwicklungszyklus der in Deutschland auftretenden *Unionicola* Arten (*Hydrachnellae*, *Acari*). *Archiv für Hydrobiologie*, 1980, vol. 52, no. 3, pp. 324–327.
- Kojho R., Sanshajin D., Bendzhamini E. *Immunologiya: uchebnoye posobie*. M.: Akademiya, 2008. 368 p.
- Kol'tover V.K. Free radical theory of aging: historical essay. *Uspekhi gerontologii*, 2000, no. 4, pp. 33–40.
- Loginov S.I., Smirnov P.N., Trunov A.N. *Immunnye komplekсы u zhivotnykh i cheloveka: norma i patologiya*. Novosibirsk: RASKHN, 1999. 144 p.
- Men'shikova E.B., Zenkov N.K., Lapkin V.Z. i dr. *Okislitel'nyy stress: patologicheskie sostoyaniya i zabolevaniya*. Novosibirsk, ARTA, 2008. 284 p. (In Russian)
- Metlickij L.V., Ozereckovskaya O.L., Korableva N.P. i dr. *Biohimiya immuniteta, pokoya, stareniya rastenij*. M., Nauka, 1984. 264 p.
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zabolotkina E.A. i dr. *Reakciya immunnogo sistema ryb na zagryaznenie vody toksikan-tami i zakislenie sredy*. M., Nauka, 2001. 126 p.
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Mikryakov D.V. Effect of anthropogenic pollution on immunological and biochemical mechanisms for maintaining homeostasis at the Black Sea. *Biologiya morya*, 2011, vol. 37, no. 2, pp. 142–148.
- Mitchell R.D. Anatomy, life history, and evolution of the mites parasitizing fresh-water mussels. *Miscellaneous public. Museum of Zool.*, 1955, vol. 89, pp. 1–28.
- Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)*. M., Pishchevaya promyshlennost', 1966. 376 p.
- Rojt A., Brostoff Dzh., Mejl D. *Immunologiya*. M., Mir, 2000. 592 p.
- Saenko E.M., Balan I.V. The first data on the relationship between water ticks of the genus *Unionicola* and freshwater bivalve mollusks (*Bivalvia: Unionidae*) of the Khingansky Reserve and adjacent territories. *Byulleten' Dal'nevostochnogo malakologicheskogo obshchestva*, 2010, vol. 14, pp. 61–66.
- Shul'c R.S., Gvozdev V.V. *Osnovy obshchej gel'mintologii*. M., Nauka, 1970. 309 p.
- Shvarca S.S. Morpho-physiological indicators in the ecology of ground vertebrate animals. *Zoologicheskij zhurnal*, 1958, vol. 37, no. 2, pp. 161–173.
- Silina A.E. Tick-mite parasitosis and mass death toothless (Mollusca) in the raise of the Matyrsky reservoir in 2011. *Materialy V yubilejnoj nauchno-prakticheskoy konferencii pamyati prof. V.A. Romashova*. Voronezh, "Artefakt", 2011. 64 p.
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R., Sokolova A.S. Influence of Anthropogenic Contamination on the Content of Immune Complexes and Lipids and on the Oxidative Processes in *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846). *Hydrobiological Journal*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 53–58.
- Skulachev V.P. New information about the biochemical mechanism of programmed aging of the body and antioxidant mitochondrial protection. *Biohimiya*, 2009, vol. 74, no.12, pp. 1718–1721.
- Sokolov I.I. Hydracarina – Water Ticks (h. 1: Hydrachnellae). *Fauna SSSR. Paukoobraznye*. M.; L., Izd-vo AN SSSR, 1940, vol. 5 (2), 511 p.
- Stolbov V.A., Voronova K.P. Mollusks infestation (*Bivalvia: Unionidae*) Water ticks of the genus *Unionicola* (*Acari: Hydrachnidia: Unionicolidae*) in the reservoirs of the south of Western Siberia. *Parazitologiya*, 2019, vol. 53, no. 3, pp. 220–229.
- Tuzovskij P.V. Water pincers. *Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii ZIN RAN*. Sankt-Peterburg, 1997. 13–105 p.
- Weinstein (Vajnshtejn) B.A. Definition of larvae of water tick. *Obshchaya chast'*. L., Nauka, 1980, pp. 29–41.
- Yanovich L.N., Shevchuk T.V., Pampura M.M. Morphologic Features and Distribution of the Liquid of *Unionicola* (*Acari: Hydracarina: Unionicolidae*) - Pearl's parasites (*Mollusca: Bivalvia: Unionidae*) in the river basins of Ukraine. *Visnik Zaporiz'kogo Nacional'nogo Universitetu*, 2012, vol. 2, pp. 47–56.
- Zenzov N.K., Men'shikova E.B., Vol'skij N.N., Kozlov V.A. Intracellular oxidative stress and apoptosis. *Uspekhi sovremennoj biologii*, 1999, vol. 119, no. 5, pp. 440–450.
- Zhavoronkova O.D., Pesnya D.S. Some aspects of biology and ecology of the Water Tick *Unionicola YPSILOPHORA* (BONZ, 1783) (*Acariformes: Hydrachnidia*) in the Rybinsk reservoir. *Materialy V Vserossijskogo simpoziuma po amfibiaticeskim i vodnym nasekomym*. Yaroslavl', Filigran', 2013. 57 p.
- Zhuravlev A.I., Pantyushenko V.T. *Svobodnoradikal'naya biologiya*. M., Mosk. vet. akad. im. K.I. Skryabina, 1989. 58 p.

**INFLUENCE OF THE INVASIVE SPECIES OF *UNIONICOLA YPSILOPHORA* (BONZ, 1783) ON THE MORPHO AND IMMUNOPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF THE MOLLUSK *ANODONTA CYGNEA* (L.) OF THE RYBIN RESERVOIR**

**A. S. Sokolova, V. R. Mikryakov, D. V. Mikryakov, S. V. Kuzmicheva**

*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences  
152742 Borok, Russia, e-mail: Aleksandrasokol@rambler.ru; daniil@ibiw.ru*

The effect of the invasive biological species of the Rybinsk Reservoir, the water mite *Unionicola ypsilophora* (Bonz, 1783) on the morphological and immunophysiological parameters of the infected bivalve mollusks *Anodonta cygnea* (L., 1758), was studied. The dependence of mollusk infection by water mite on the age, size, fatness coefficient, somatic indices of gills, legs, the content of immune complexes and malondialdehyde, one of the final products of lipid peroxidation, is shown. Indicators of size, total weight, content of immune complexes and malondialdehyde in infected individuals aged 7–10 years significantly exceeded those of uninfected young children 4–5 years old. It is concluded that with age, the level of innate mechanisms of the anti-acaricidal immunity of *A. cygnea* to water mite decreases, which leads to mass infection and death of older age groups of mollusks. The obtained data can be used to predict the propagation rate of biological invasion of *U. ypsilophora* in water bodies.

**Keywords:** *Unionicola ypsilophora* water mite, *Anodonta cygnea* bivalve mollusk, Rybinsk Reservoir, parasitic invasion, anti-acaricidal immunity, immune complexes, lipid peroxidation





Научное издание

**Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
вып. 97(100), 2022 г.**

*Рекомендуемый вариант цитирования статей:*

... // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2022, Вып. 97(100). С. ...

*Recommended option for citing articles:*

... // Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, 2022. Is. 97(100). P. ...

Подписано в печать 20.03.2022. Формат 60×90 1/8.

Усл. печ. л. 8,25. Заказ № 22016. Тираж 150 экз.

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