

ХІІІ НАЦІОНАЛЬНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ «ВОДНІ БІОРЕСУРСИ, АКВАКУЛЬТУРА І ЕКОЛОГІЯ ВОДОЕМОВ»

XIII NATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "AQUATIC BIORESOURCES, AQUACULTURE AND ECOLOGY OF WATER RESERVOIRS"

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

СЕКЦІЯ «БІОЛОГІЧЕСКІ РЕСУРСИ ВОДОЕМОВ, АКВАКУЛЬТУРА, ИХТИОПАТОЛОГІЯ И ГІДРОБІОЛОГІЯ»

SECTION "BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WATER RESERVOIRS, AQUACULTURE, ICHTHYOPATHOLOGY AND HYDROBIOLOGY"

<i>Авсиян А. Л., Геворгиз Р. Г.</i> Влияние углеродного и светового обеспечения на продуктивность и ночную потерю биомассы <i>Limnospira (Spirulina) platensis</i>	
в условиях естественного освещения	5
<i>Амосова В. М., Зезера А. С.</i> Траловые съемки демерсальных рыб в 2021–2024 гг. их практическое применение в оценках запасов трески и речной камбалы.....	12
<i>Архипов А. Г., Дюшков Н. П., Шнар В. Н.</i> Исследования особенностей распределения сестона в ходе Большой африканской экспедиции в водах Мавритании	21
<i>Гончаренок О. Е., Савина Л. В., Ромашова Ю. А.</i> Оценка готовности к нересту производителей карпа на учебно-опытном хозяйстве КГТУ в сезоне 2025 года	26
<i>Заостровцева С. К., Малышев А. В.</i> Паразитоценоз ряпушки (<i>Coregonus albula L.</i>) озера Виштынецкого в 2024 году	32
<i>Зелененко В. В., Борисов Р. Р., Воробьева Л. В., Бубунец Э. В., Жигин А. В.</i> Питание австралийского красноклешневого рака <i>Cherax Quadricarinatus</i> в прудах Московской области	38
<i>Зуенко Ю. И.</i> Динамика воспроизводства наваги в Амурском заливе Японского моря в современных условиях низкой численности и потепления климата.....	47
<i>Литвиненко А. В., Карпенко И. В., Гринберг Е. В.</i> Первые результаты определения критериев жизнестойкости молоди кеты на Сахалинских лососевых рыболоводных заводах	56
<i>Пильганчук О. А., Крупенёва М. В., Савенков В. В.</i> Изменчивость микросателлитных локусов нерки (<i>Oncorhynchus nerka</i>) юго-восточного побережья Камчатки	64
<i>Решетникова О. В., Сбоячаков В. Б.</i> Психрофильные аммонийные и нитритразлагающие бактерии, улучшающие условия выращивания радужной форели	74
<i>Горячев С. В., Литвиненко А. В., Данилин Д. Д., Карпенко И. В., Воитков А. Д., Боровкова А. Д., Донец М. М., Беланов М. А., Цыганков В. Ю.</i> Сравнительный анализ микроэлементного состава кижуча рек Ключевка и Колокольникова полуострова Камчатка	80
<i>Токранов А. М.</i> Пищевая специализация рогатковых рыб рода <i>Hemilepidotus</i> (Cottidae) в дальневосточных водах России	86
<i>Шахова Е. В., Трофимов Р. В.</i> Некоторые особенности выращивания молоди европейского сига (<i>Coregonus lavaretus</i> , L.) на научно-экспериментальной базе Атлантического филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО») в 2025 году	93

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

SECTION "ECOLOGY AND RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT"

<i>Боровкова А. Д., Донец М. М., Беланов М. А., Масалева К. Р., Цыганков В. Ю.</i> Стойкие органические загрязняющие вещества в двустворчатых моллюсках российского побережья Черного моря	100
<i>Двоеглазова Н. В., Иванов Ю. В.</i> Связь перекрытия водозаборов г. Калининграда с проникновением солоноватых вод в реку Преголю	107
<i>Килесо А. В., Дикий Д. И., Домнин Д. А.</i> Оценка возможности удержания взвешенных частиц в системе пойменных водоёмов реки Преголи	113
<i>Кипер А. В., Фадеев А. В., Давлюд И. И.</i> Организация биомониторинга потенциально опасных объектов	118
<i>Кривопускова Е. В., Масюткина Е. А.</i> Эколого-фаунистическая характеристика зоопланктона озера Виштынецкого	126
<i>Меньшинин А. С., Новожилов О. А.</i> Актуальное состояние гидрофитов российской части Куршского залива	133
<i>Моисеенко В. В., Цупикова Н. А.</i> Характеристика и экологические особенности обводненных карьеров Калининградской области.....	138
<i>Севостьянова Е. А., Цупикова Н. А., Севостьянов Н. В.</i> К вопросу о типизации городских водоемов: проблемы гидронимии и идентификации водных объектов г. Калининграда	144
<i>Цветкова Н. Н., Масюткина Е. А., Гзирян М. Г.</i> Оценка экологического состояния некоторых водоемов парка Южный г. Калининграда в летний период.....	151

СЕКЦИЯ «БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ВОДОЕМОВ, АКВАКУЛЬТУРА, ИХТИОПАТОЛОГИЯ И ГИДРОБИОЛОГИЯ»

SECTION "BIOLOGICAL RESOURCES OF THE WATER RESERVOIRS, AQUACULTURE, ICHTHYOPATHOLOGY AND HYDROBIOLOGY"

УДК 582.279;
ГРНТИ 34.35.33

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНОГО И СВЕТОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И НОЧНУЮ ПОТЕРЮ БИОМАССЫ *LIMNOSPIRA (SPIRULINA) PLATENSIS* В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

¹Авсиян Анна Львовна, младший научный сотрудник
отдела биотехнологии и фиторесурсов

²Геворгиз Руслан Георгиевич, канд. биол. наук, старший научный сотрудник
отдела биотехнологии и фиторесурсов

^{1,2}ФГБУН Федеральный исследовательский центр
«Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Россия, e-mail: ¹anna_avs@ibss-ras.ru, ²r.gevorgiz@ibss.su

Аннотация. Проведена оценка влияния освещённости на продукционные характеристики и ночную потерю биомассы цианобактерии *Limnospira (Spirulina) platensis* при культивировании в полупромышленном масштабе на естественном освещении с различным углеродным обеспечением. Показано, что при культивировании *L. platensis* на естественном освещении ночная потеря биомассы возрастает при повышении суммарной дневной облученности и вечерней температуры, а также при снижении концентрации источника углерода в среде.

Ключевые слова: *Spirulina*, продуктивность, ночная потеря биомассы, полупромышленное культивирование, открытый бассейн

Введение

Цианопрокариота *Limnospira platensis* (комерческое название – *Spirulina*, ранее известна под названием *Arthrospira platensis*) широко используется в альгобиотехнологии для получения биомассы и ценных биологически активных компонентов, применяется в качестве ингредиента в пищевых продуктах и биологически активных добавках. *L. platensis* обладает богатым микро- и макроэлементным составом, включающим белки, липиды, углеводы, незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, минеральные вещества и пищевые волокна. Широкий спектр биологически активных компонентов обусловливает разнообразные фармакологические свойства *L. platensis*, в том числе антиоксидантные, антидиабетические, antimикробные, противоопухолевые, противовоспалительные, фотопротекторные, противовирусные и др. [1].

Культивирование микроводорослей и цианобактерий в условиях естественного освещения позволяет эффективно использовать солнечное световое излучение, однако параметры освещённости и температуры могут существенно варьировать при изменении погодных условий, что оказывает влияние на продукционные характеристики. Вместе с этим, суточные изменения освещённости приводят кочной потере биомассы (НПБ) микроводорослей за счёт темнового дыхания [2, 3]. Например, для лабораторных условий показано, что по сравнению с постоянным освещением, фотопериод 16 ч: 8 ч (свет:темнота) приводил к снижению среднесуточной продуктивности *A. platensis*, пропорционально количеству полученной световой энергии [4].

Одним из ограничений коммерческого производства микроводорослей и цианобактерий является высокая стоимость производства, в связи с чем для снижения себестоимости актуальна оптимизация состава питательных сред для широкомасштабного культивирования [5]. Дополнительным методом снижения затрат при производстве *L. platensis* может служить пониженное содержание источника углерода (NaHCO_3) в питательной среде. Так, Castro et al. [6] проводилось исследование роста *L. platensis* при снижении содержания NaHCO_3 до $9 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1}$, однако исследование было выполнено в лабораторных условиях и показало противоречивые результаты для различных уровней освещённости и минерального питания.

Целью данной работы является оценка влияния освещённости на продукционные характеристики и ночную потерю биомассы (НПБ) *L. platensis* при культивировании на естественном освещении в условиях различного углеродного обеспечения при снижении содержания бикарбоната натрия в питательной среде.

Материалы и методы

Объектом исследования служила альгологически чистая культура цианобактерии *Limnospira platensis* (Gomont) K.R.S.Santos & Hentschke (syn. *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler) штамм IBSS-31 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ).

Выращивание культуры *L. platensis* проводилось в накопительном режиме в открытых бассейнах, расположенных в теплице (45.0399350N , 34.5582283E), при естественном уровне освещённости и температуры. Культиваторами служили квадратные бассейны ($1 \times 1 \text{ м}$) из пищевой полиэтиленовой пленки толщиной 150 мкм , уложенной на выровненную поверхность грунта. Объем среды в каждом культиваторе составлял 90 л , при высоте слоя культуры 9 см . Для выращивания использовали модифицированную среду Zagrouk [7]. Модификация заключалась в изменении содержания NaHCO_3 в качестве источника углерода. В контрольном варианте содержание NaHCO_3 составляло $10 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1}$, в то время как в опытном варианте содержание NaHCO_3 в питательной среде было уменьшено до $2 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1}$, и дополнительно вносились NaOH в количестве $0.15 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1}$ для обеспечения равного значения pH. Перемешивание осуществляли в светлое время суток с интервалом три часа.

Ежедневно в начале и в конце светового периода проводили отбор проб для определения оптической плотности и измерения температуры культуры. Динамика температуры культуральной среды в течение эксперимента представлена на Рис. 1А. Данные по суммарной суточной облучённости в области ФАР снаружи теплицы получали из: NASA LaRC POWER Project [8] (Рис. 1 Б).

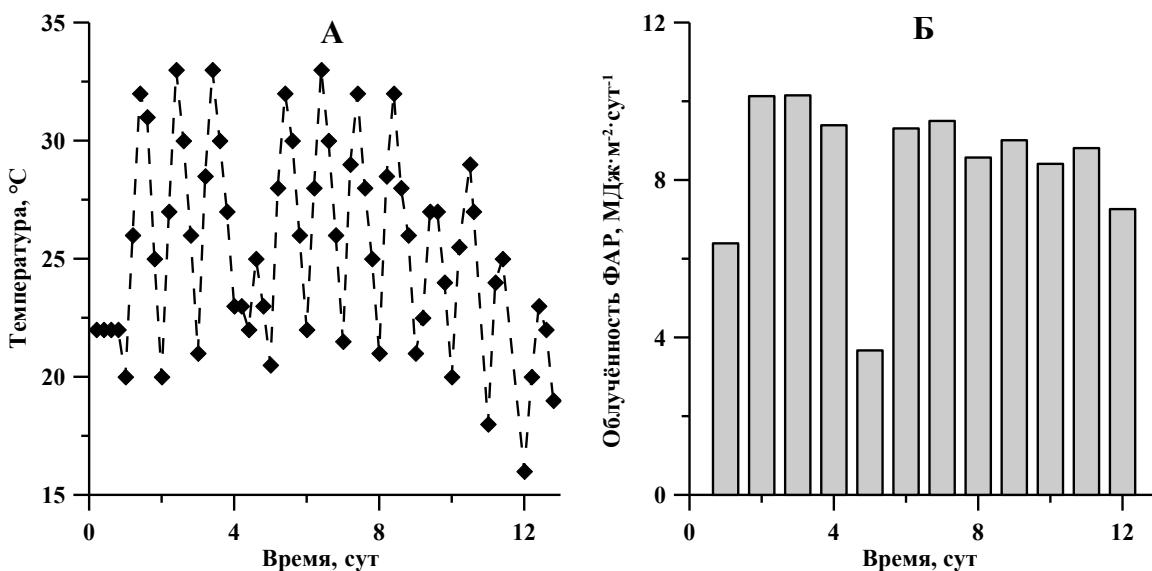


Рис. 1. Температура культуральной среды и поверхностная облучённость в области ФАР в течение проведения эксперимента по выращиванию *L. platensis*

Плотность культуры регистрировали фотометрическим методом. Оптическую плотность на длине волн 750 нм (D_{750}) измеряли в стеклянной кювете с длиной оптического пути 0,5 см. Для расчета биомассы (г сухого вещества (СВ) · л^{-1}) данные оптической плотности D_{750} умножали на предварительно определенный эмпирический коэффициент 0,85 [9].

На основании полученных данных по динамике биомассы проводили расчет среднесуточной продуктивности, продукции за световой период, а также ночной потери биомассы (НПБ) как доли от биомассы и как доли от продукции за предыдущий световой период. Также проводили расчёт удельной облучённости как отношения суммарной облучённости к плотности культуры.

Рассчитывали средние арифметические (\bar{x}), стандартные отклонения (S), основные ошибки средних, доверительные интервалы для средних ($\Delta \bar{x}$). Достоверность различий средних определяли согласно t-критерию Стьюдента. Корреляционный анализ проводили путем расчета коэффициента корреляции Пирсона (r). Все расчёты проводили в программах Libre Office и Scidavis для уровня значимости $\alpha=0,05$ для трех аналитических повторностей.

Результаты и обсуждение

При выращивании цианобактерии *L. platensis* в открытых бассейнах в теплице в течение 12 суток наблюдался накопительный рост культуры. На основании определения плотности культуры были построены накопительные кривые роста биомассы *L. platensis* при различном углеродном обеспечении, которое заключалось в различном содержании NaHCO_3 в питательной среде (Рис. 2).

До 5-х суток культивирования не наблюдалось существенной разницы между динамикой биомассы в двух вариантах опыта, после чего в варианте с пониженным содержанием NaHCO_3 наблюдалось снижение скорости роста по сравнению с контролем, что видимо, обусловлено лимитированием по источнику углерода. Максимальная биомасса за 12 суток культивирования составила 0,51 г· l^{-1} для варианта с пониженным содержанием соды и 0,65 г· l^{-1} в контрольном варианте.

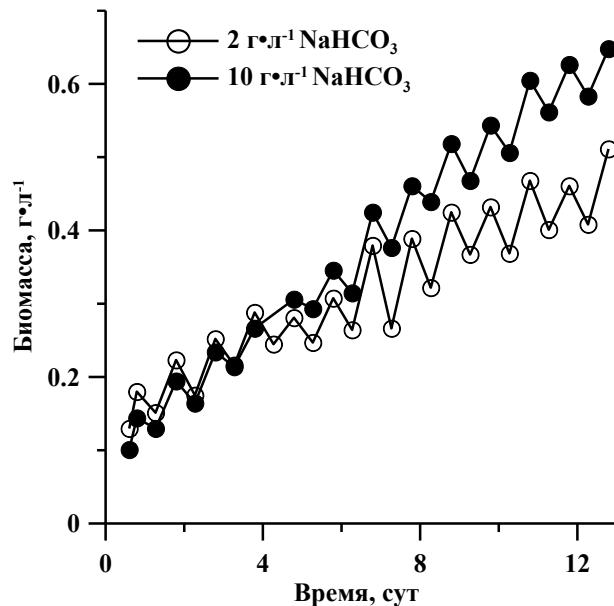


Рис. 2. Накопительные кривые роста биомассы *L. platensis* в условиях естественного освещения при различном углеродном обеспечении

Для линейного участка накопительного роста была определена максимальная среднесуточная продуктивность (P_m), которая достигала 0,025 г· $\text{l}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ и 0,043 г· $\text{l}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ для вариантов с содержанием соды 2 г· l^{-1} и 10 г· l^{-1} , соответственно. При этом продукция только за световой период имела сходные значения, составляя в среднем 0,082 г· $\text{l}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ в варианте с пониженным содержанием соды и 0,072 г· $\text{l}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ в контроле.

Величина суммарной облученности в ходе эксперимента (Рис. 1Б) существенно варьировала, от 3,7 до 10,2 МДж·м⁻²·сут⁻¹ в зависимости от метеорологических условий. Также в разные сутки эксперимента была зафиксирована различная дневная продукция (от начала до конца светового дня). Выявлена положительная корреляция между дневной продукцией и суммарно полученной световой энергией для обоих вариантов опыта, однако она не была достоверна (коэффициент корреляции $r = 0,3$, $p > 0,05$). В то же время обнаружена сильная корреляция между удельной продукцией (относением дневной продукции к биомассе) и удельной облучённостью (соотношением количества световой энергии к единице биомассы), $r = 0,8$ в опыте и $r = 0,93$ в контрольном варианте, достоверно при $p \leq 0,001$ (Рис. 3).

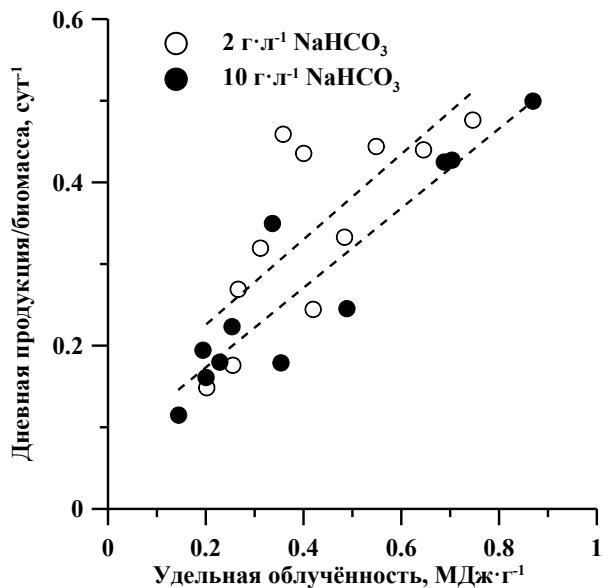


Рис. 3. Зависимость отношения дневной продукции к биомассе от удельной облучённости в культуре *L. platensis* при различном углеродном обеспечении. Штриховые линии – линейная корреляция

В течение ночного периода в культуре *L. platensis* происходило снижение биомассы, обусловленное темновым дыханием культуры. Ночная потеря биомассы варьировала как в течение накопительного культивирования, так и при различном углеродном обеспечении (Рис. 4).

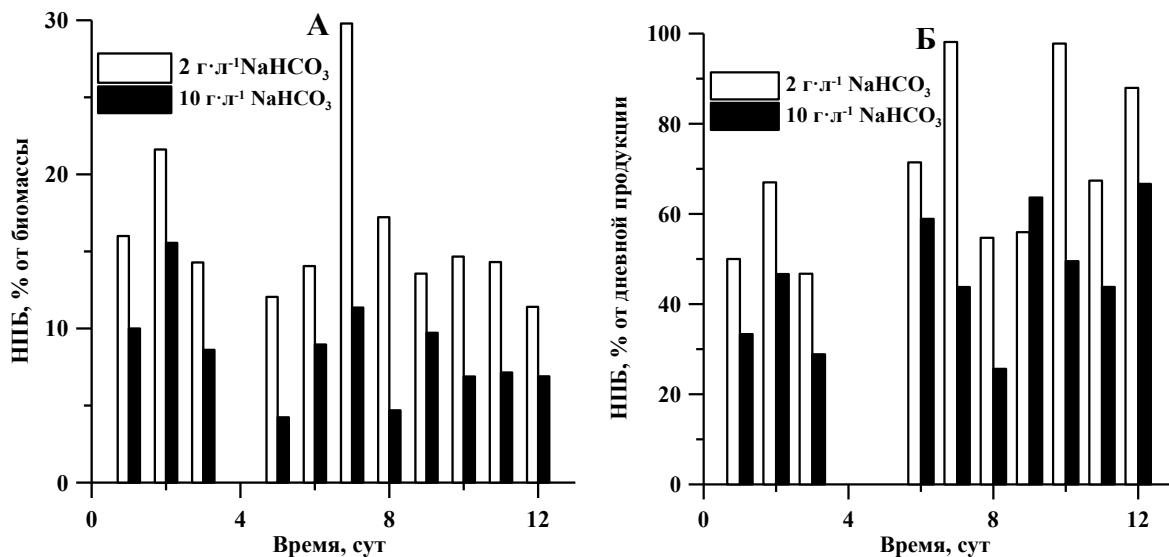


Рис. 4. Динамика ночной потери биомассы (НПБ) в культуре *L. platensis* при различном углеродном обеспечении. А – НПБ как доля от биомассы, Б – НПБ как доля от дневной продукции

НПБ была выше в опытном варианте с пониженным содержанием соды (от 12 до 29,8 % от биомассы и от 50 до 90 % от дневной продукции). В контрольном варианте с содержанием соды $10 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1}$ НПБ составляла от 4,2 до 15,6 % от биомассы и от 28,9 до 66,7 % от дневной продукции. НПБ в обоих вариантах была выше, чем при лабораторном культивировании [4], при этом в контрольном варианте НПБ была сопоставима со значениями, полученными при выращивании *Spirulina platensis* в трубчатом фотобиореакторе при естественном освещении [3].

В целом, для цианобактерий характерно более низкое соотношения скорости дыхания к скорости роста по сравнению с эукариотическими микроводорослями [10]. Например, Le Borgne и Pruvost [11] в лабораторных условиях было показано, что скорость распада биомассы, оцененная по дыханию, для *A. platensis* была выше, чем для эукариотической микроводоросли *Chlamydomonas reinhardtii*.

Так же, как и для дневной продукции, выявлена положительная корреляция НПБ с суммарной облученностью (r составлял 0,51 для $2 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$ и 0,57 для $10 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$, $p < 0,05$). Более сильная корреляция была выявлена между НПБ и удельной облученностью (r 0,7 и 0,71 для $2 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$ и для $10 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$, соответственно, $p < 0,01$) (Рис. 5А).

Известно, что интенсивность дыхания водорослей в темноте возрастает при увеличении температуры [12], что связано с интенсификацией ферментативных процессов. В лабораторных условиях показано, что повышение температуры в диапазоне от 20 до 35 °C приводило к повышению удельной скорости распада биомассы в темноте у *A. platensis* [11]. В то же время исследование роста *Spirulina* в трубчатых фотобиореакторах в Италии показало, что НПБ была выше при 25 °C (7,6 %) по сравнению с оптимальной температурой 35 °C (5 %), что может быть обусловлено разницей в биохимическом составе и скоростью катаболизма углеводов ночью [3]. В данном исследовании корреляционный анализ выявил положительную зависимость между НПБ и температурой в начале темнового периода (Рис. 5Б), коэффициент корреляции r составил 0,74 для варианта с $2 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$ и 0,76 для $10 \text{ г}\cdot\text{l}^{-1} \text{NaHCO}_3$ ($p < 0,001$).

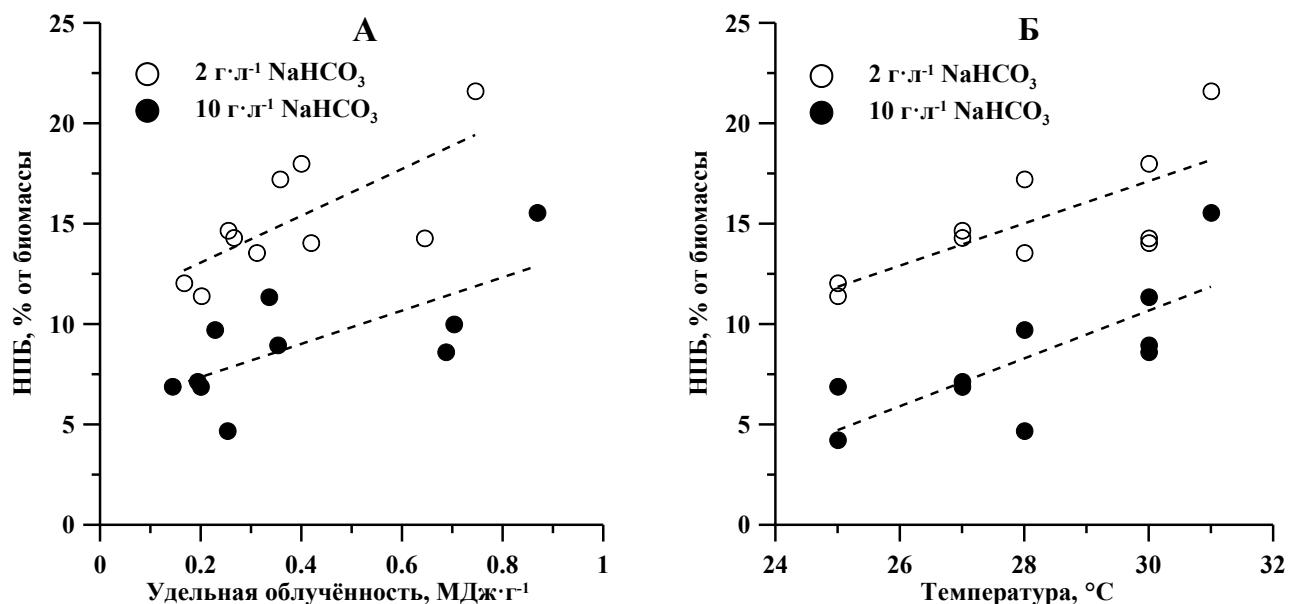


Рис. 5. Зависимость ночной потери биомассы (НПБ) от удельной облученности (А) и от вечерней температуры (Б) в культуре *L. platensis* при различном углеродном обеспечении.
Штриховые линии – линейная корреляция

В целом, исследование продукционных характеристик при выращивании *L. platensis* в условиях естественного освещения показало, что при различном углеродном обеспечении происходило изменение как среднесуточной продуктивности, так и показателей НПБ культуры. Однако, при этом не наблюдалось достоверной разницы в дневной продукции. Таким образом, снижение среднесуточной продуктивности в варианте с пониженным содержанием соды было обусловлено повышением доли НПБ в суточном балансе процессов биосинтеза и катаболизма. При полном исключении бикарбоната натрия из питательной среды наблюдается увеличения активности CO₂-концентрирующих

механизмов, однако снижается эффективность фотохимического тушения [13] Насколько известно авторам, впервые отмечен тот факт, что при снижении концентрации углерода в среде наблюдается повышение НПБ в культуре микроводорослей.

Влияние освещённости на НПБ может быть опосредовано как через интенсификацию расхода энергии на дыхание роста при повышении освещённости и скорости роста, так и в результате необходимости reparации компонентов клетки в результате фотодеструкции, происходящей при облученности выше оптимального уровня.

Заключение

Полученные результаты показывают перспективу использования питательных сред с пониженным содержанием соды для культивирования *L. platensis* без пропорционального снижения общего урожая. Характер зависимости продукции характеристик от освещённости необходимо учитывать для моделирования роста культур низших фототрофов в условиях естественного освещения.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 124021300070-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Application of *Arthrospira platensis* for medicinal purposes and the food industry: a review of the literature / G. Gentscheva, K. Nikolova, V. Panayotova, K. Peycheva et al. // Life. – 2023. – Vol. 13. – № 3. – Pp. 845.
2. Edmundson, S. J., Huesemann, M. H. The dark side of algae cultivation: characterizing night biomass loss in three photosynthetic algae, *Chlorella sorokiniana*, *Nannochloropsis salina* and *Picochlorum* sp // Algal research. – 2015. – Vol. 12. – Pp. 470–476.
3. Torzillo, G., Sacchi, A., Materassi, R. Temperature as an important factor affecting productivity and night biomass loss in *Spirulina platensis* grown outdoors in tubular photobioreactors // Bioresource Technology. – 1991. – Vol. 38. – № 2-3. – Pp. 95–100.
4. Авсиян, А. Л. Влияние суточного светового режима на продуктивность культуры *Arthrospira platensis* Gomont // Вопросы современной альгологии. – 2018. – № 3 (18). – URL: <http://algology.ru/1374> (дата обращения: 20.07.2025).
5. Raoof B., Kaushik B.D., Prasanna R. Formulation of a low-cost medium for mass production of *Spirulina* // Biomass and bioenergy. – 2006. – Vol. 30. – № 6. – Pp. 537–542.
6. Biomass production by *Arthrospira platensis* under different culture conditions / Castro G.F.P.D.S.D., Rizzo R.F., Passos T.S., Santos B.N.C.D. et al. // Food Science and technology. – 2015. – Vol. 35. – Pp. 18–24.
7. Zarrouk, C. Contribution à l'étude d'une cyanophycée. Influence de divers facteurs physiques et chimiques sur la croissance et la photosynthèse de *Spirulina maxima* (Stech. Et Gardner) Geitler: Ph.D. thesis. – Paris, 1966. – 138 p.
8. NASA Langley Research Center (LaRC) POWER Project. – URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 20.07.2025).
9. Геворгиз, Р. Г., Алисиевич, А. В., Шматок, М. Г. Оценка биомассы *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. по оптической плотности культуры // Экология моря. – 2005. – Вып. 70. – С. 96–106.
10. Geider, R. J., Osborne, B. A. Respiration and microalgal growth: a review of the quantitative relationship between dark respiration and growth // New phytologist. – 1989. – Vol. 112. – № 3. – Pp. 327–341.
11. Le Borgne, F., Pruvost, J. Investigation and modeling of biomass decay rate in the dark and its potential influence on net productivity of solar photobioreactors for microalga *Chlamydomonas reinhardtii* and cyanobacterium *Arthrospira platensis* // Bioresource technology. – 2013. – Vol. 138. – P. 271–276.
12. Grobbelaar, J. U., Soeder, C. J. Respiration losses in planktonic green algae cultivated in raceway ponds // Journal of plankton research. – 1985. – Vol. 7. – № 4. – Pp. 497–506.
13. Ma, Z., Gao, K. Carbon limitation enhances CO₂ concentrating mechanism but reduces trichome size in *Arthrospira platensis* (cyanobacterium) // Journal of Applied Phycology. – 2014. – Vol. 26. – № 3. – Pp. 1465–1472.

INFLUENCE OF CARBON AND LIGHT SUPPLY ON PRODUCTIVITY AND NIGHT BIOMASS LOSS IN *LIMNOSPIRA (SPIRULINA) PLATENSIS* UNDER NATURAL ILLUMINATION

¹Avsiyan Anna Lvovna, junior scientist, Department of Biotechnology and Phytoresources

²Gevorgiz Ruslan Georgievich, Ph.D., senior scientist,

Department of Biotechnology and Phytoresources

^{1,2}A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia,
e-mail: ¹anna_avs@ibss-ras.ru, ²r.gevorgiz@ibss.su

Abstract. The influence of light intensity on the productivity and night biomass loss of the cyanobacterium *Limnospira (Spirulina) platensis* was evaluated during pilot-scale outdoor cultivation with varying carbon supply. It was demonstrated that during *L. platensis* cultivation under natural light, night biomass loss increased with higher total daily irradiance and evening temperature, as well as with a decrease in the carbon source concentration in the medium.

Keywords: *Spirulina*, productivity, night biomass loss, pilot-scale cultivation, open pond

ТРАЛОВЫЕ СЪЁМКИ ДЕМЕРСАЛЬНЫХ РЫБ В 2021–2024 ГГ. ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ОЦЕНКАХ ЗАПАСОВ ТРЕСКИ И РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ

¹Амосова Виктория Михайловна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник

²Зезера Александр Степанович, главный специалист

^{1,2}Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»),

Калининград, Россия, e-mail: ¹amosova@atlant.vniro.ru, ²zezera@atlant.vniro.ru

Аннотация. Современную динамику численности и биомассы восточного запаса трески позволили определить значения промысловой численности вида по данным российских наблюдений. Сохраняется негативное состояние популяции восточной трески с доминированием зрелых мелкоразмерных особей. Индексы численности речной камбалы по данным донных траловых съёмок свидетельствовали о стабильном состоянии запаса.

Ключевые слова: Балтийское море, треска, речная камбала, донные траловые съёмки, оценка запасов рыб

Введение

Треска (*Gadus morhua callarias* L., 1758) и речная камбала (*Platichthys* spp.) в Балтийском море относятся к важным объектам российского рыболовства, а материалы донных траловых съёмок являются основной частью массива данных, необходимых для настройки прогностических моделей развития промысловых запасов рыб и прогноза их общего допустимого улова (ОДУ) [1].

В Балтийском море обитают две популяции трески: западная (22–24 подрайоны) и восточная (25–32 подрайоны), а также несколько единиц запасов речной камбалы. Для российского рыболовства имеет значение состояние запаса восточной трески и речной камбалы единицы запаса 26+28 подрайонов Балтийского моря.

Проведенный специалистами АтлантНИРО интегрированный анализ абиотической и биотической компонент экосистемы моря за последние три десятилетия показал «мезомасштабные» сдвиги в 2002 и 2013 гг. (после основного режимного сдвига на рубеже 1990-х гг.). На фоне роста температурных показателей окружающей среды и неблагоприятного кислородного режима моря, несмотря на снижение промысловой нагрузки на треску до исторического минимума, произошло падение её биомассы до критического уровня, ухудшение размерно-весовых параметров и физиологического состояния популяции, увеличение естественной смертности [2].

С учетом изменений, стремительно происходящих как в экосистеме Балтийского моря, так и на международной арене, для решения задач по рациональному управлению и сохранению запасов рыб необходимым условием достижения баланса между промысловыми (рыбоперерабатывающими) мощностями и сырьевой базой отечественного рыболовства в Балтийском море является регулярное проведение научных съемок, мониторинга промышленного лова и т.д.).

Цель работы – представить современное состояние и динамику запасов трески и речной камбалы, показать практическое применение донных траловых съемок.

Материал и методика

Молодь трески нагуливается на мелководье, вдоль побережья и к концу осени (ноябрь) опускается к грунту, где становится доступной для облова донным учетным тралом. Взрослые рыбы мигрируют для нагула в восточном и северо-восточном направлениях, в районы, богатые кормовым

бентосом, шпротом и сельдью, где остаются до конца марта. В период, предшествующий нерестовой миграции (февраль-март) треска малоподвижна и наиболее доступна для облова донным тралом. Современное распределение восточного запаса трески в Балтике в настоящее время ограничено в основном акваториями 25 и 26 подрайонов моря и предопределяет высокую значимость российской зоны. В рамках всей единицы запаса рекомендованная граница осенней и весенней учетных съемок: 58°30' с.ш. (северная граница 28 подрайона) [3].

В отличие от трески речная камбала не совершает протяженных вдоль береговых миграций. Сроки нереста речной камбалы более короткие, чем у трески и сильно различаются по подрайонам. Основной нерест запаса камбалы 26+28 подрайона проходит в марте – апреле. С 2018 г. внутри единицы запаса различают два репродуктивно изолированных вида – европейская (речная) камбала *P. flesus trachurus* (пелагические производители) и балтийская камбала *P. solemdali* (донные производители) [4]. Внешние различия, заключающиеся лишь в количестве лучей анального и спинного плавников, не позволяют просто идентифицировать эти два вида, поэтому, с практической точки зрения, наличие двух видов в одной единице запаса не препятствует управлению рыболовством. Осенью эти два вида нагуливаются в одних районах, поэтому оптимальным периодом для учета камбалы является поздняя осень [5]. Поскольку в российской акватории 26 подрайона *P. solemdali* может отмечаться штучно или отсутствовать вообще (эта акватория моря является краем ареала её распространения), проведение съемки в марте также позволяет оценить состояние запаса камбалы.

На научной конференции Международного Совета по исследованию моря (ИКЕС) при непосредственном участии российских специалистов в сентябре 1995 г. комитет балтийских рыб принял решение разработать Руководство по проведению траевых съемок в Балтийском море. Базовая версия «Руководства...» была разработана и принята Рабочей группой ИКЕС по Балтийским международным съемкам рыб в феврале 2001 г. в г. Калининграде [6]. В 2017 г. вышла последняя версия руководства, в разработке которой принимали активное участие российские специалисты [3].

Траевые съемки демерсальных рыб в марте 2021–2024 гг. (BITS Q1) и ноябре 2023 г. (BITS Q4) выполнялись в российской акватории 26 подрайона Балтийского моря по вышеупомянутой методике.

Балтийская Международная траевая съемка выполняется в форме стратифицированной рандомизированной съемки. Целью рандомизированного выбора траевых станций внутри глубинной страты является обеспечение равной вероятности для всех частей глубинного слоя быть представленными в выборке. Целью съемки является покрытие всего района распределения основных видов независимо от состояния их запасов. Помимо влияния размеров запасов на форму их распределения также влияет конкретная океанологическая ситуация. Планируемые траевые станции распределяются в зависимости от площади подрайонов Балтийского моря и наличия донных трасс по глубинам от 10 до 120 м. Площадь глубинных страт была рассчитана по топографическим данным Института исследований Балтийского моря в Варнемюнде (Германия) [3].

Индексы численности запаса трески получаются путем стратифицированных по подрайонам и глубинным слоям выборок. Среднее стратифицированное значение CPUE и ее вариации вычисляются по формулам, приведенным в Методическом руководстве..., 2006 года [6], учитывают площадь страт и количество траений в страте.

При траении применяется стандартизованный траул TV3/930. Траул буксируется со скоростью 3 узла. Продолжительность стандартного траения – 30 мин. Траения производятся только в светлое время суток без поиска рыбы. Перед съемкой и в ходе ее проведения проводится настройка и измерение геометрических параметров траула в соответствии с детальной инструкцией [3; 6].

На каждой траевой станции выполняется комплекс гидрологических работ, включающих измерения температуры, солености и содержания кислорода. Съемка сопровождается сопутствующими гидробиологическими сборами по предварительно согласованной регулярной сетке (зоо-, ихтиопланктон и т.д.). С целью изучения рационов питания трески на весенней и осенней траевых съемках выполняется сбор трофологических проб. Дополнительно может выполняться отбор проб для паразитологических и технологических исследований.

Таким образом, в основные задачи донных траевых съемок демерсальных рыб в марте 2021-2024 гг. и ноябре 2023 г.:

- выполнение донной траевой съемки по оценке численности пополнения, относительной плотности концентраций основных промысловых донных рыб (трески и речной камбалы);

- сбор материалов по размерно-возрастному составу, биологическому состоянию, питанию и распределению донных рыб;

- сбор ихтиопланкtonных и зоопланктонных проб, отбор проб бентоса;

- сбор проб для паразитологических исследований;

- сбор гидрометеорологической информации;

- сбор информации об экологических факторах, определяющих доступность ВБР промыслу.

Работы проводились в 26 подрайоне в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) и территориальном море России в соответствии с нормативными документами на 2021–2024 гг. Продолжительность рейса (рейсооборот) каждой съемки 15 суток. Схемы контрольных тралений донной трашевой съемки представлена на рисунке 1.

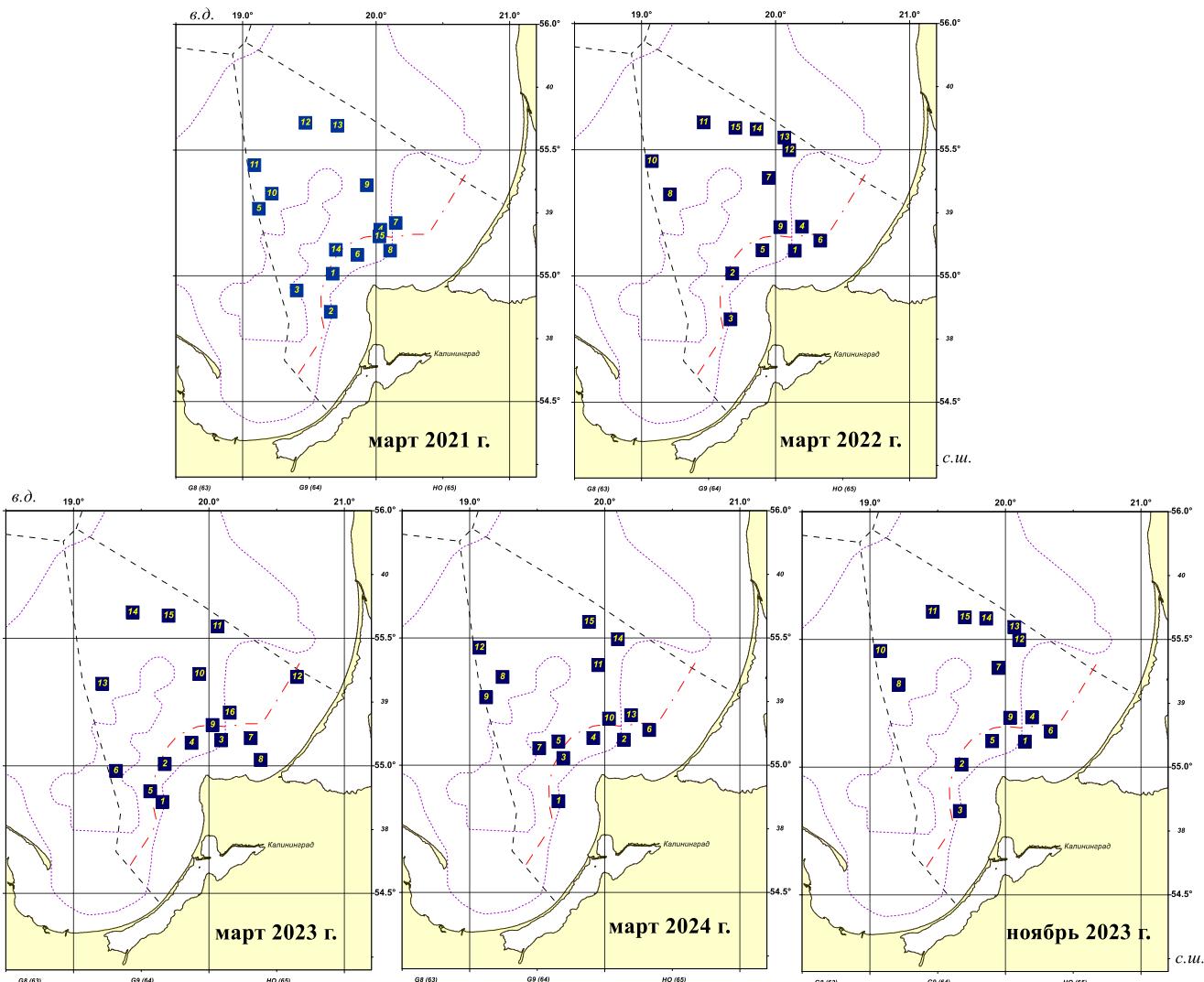


Рис. 1. Схема контрольных тралений донной трашевой съемки, СТМ К-1704 «Атлантида» и СТМ К-1711 «Атлантниро» в 2021–2024 гг.

В качестве основной оценочной модели запаса и численности трески, прогнозирования вылова в настоящее время применяется отечественный программный комплекс «КАФКА», рекомендуемый для первого уровня информационного обеспечения расчетов. Фактически российские донные траловые съемки и материалы наблюдателей на промысле донных рыб в настоящее время позволяют достоверно оценивать состояние всего запаса трески [7, 8]. Анализ состояния и прогнозирования величины запаса трески проводился по набору данных, впервые представленных на Международной научно-практической конференции Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития. В предложенной работе можно подробно ознакомиться с материалами [8]. Структура и качество доступных для прогноза данных соответствуют I-ому уровню информационного обеспечения [7].

Наличие в запасе речной камбалы различных группировок и популяций исключают возможность использования моделей эксплуатируемого запаса. Структура и качество доступных данных по речной камбale соответствуют III уровню информационного обеспечения с применением немодельных методов оценивания [5, 7].

Результаты и обсуждение

Адвекция трансформированных североморских вод в Балтийское море в декабре 2023 г. была одной из самых мощных за последнее десятилетие. Не смотря на приток «свежих» вод коренного улучшения условий обитания демерсальных видов рыб не произошло (рис. 2).

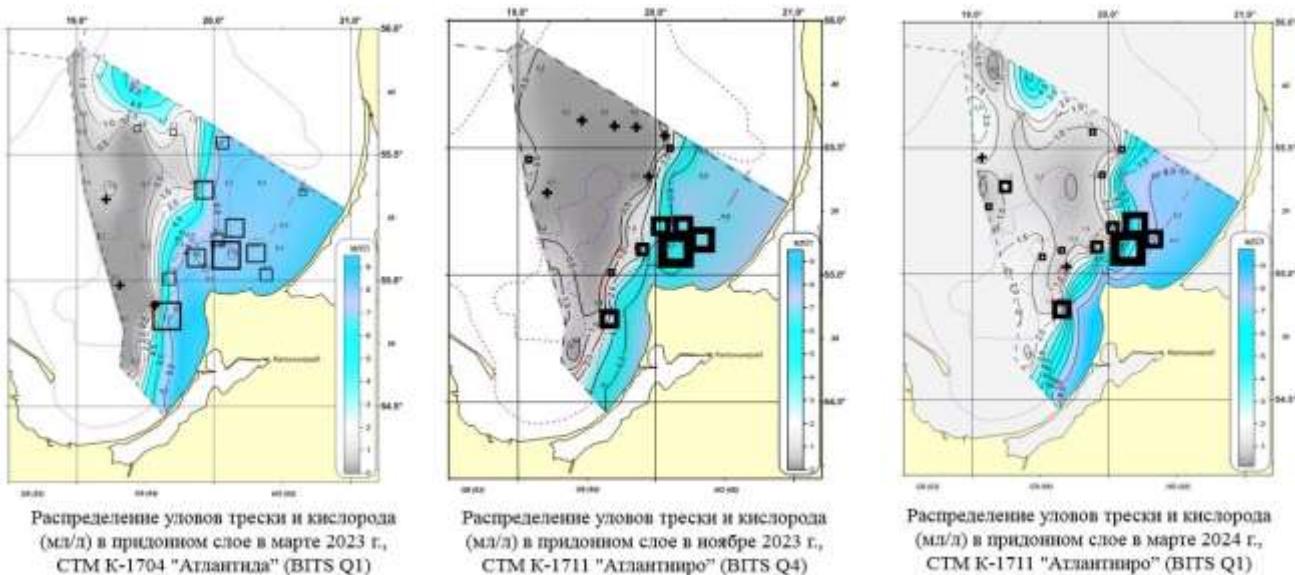


Рис. 2. Распределение уловов трески и кислорода в придонном слое в 2023–2024 гг. по данным донных траловых съемок в зоне России 26 подрайона Балтийского моря

Гидрологический режим вод при выполнении донных траловых и тралово-акустических съемок на акватории зоны РФ в 2021-2024 гг. на фоне повышенного теплосодержания водных масс характеризовался пониженным или близким к «норме» уровнем солености, может быть за некоторым исключением ноября 2023 г. и марта 2024 г. Кислородный режим в придонном слое Гданьской котловины характеризовался доминированием условий гипоксии.

Дополнительно в рамках общей характеристики изменения современного климата Балтийского моря необходимо отметить, что концентрации сероводорода в придонном слое Центральной Балтики достигли чрезвычайно высокого уровня за весь период наблюдений. На наиболее «показательной» для всего моря мониторинговой станции в центре Готландской впадины, зафиксированный абсолютный максимум сероводорода в сентябре 2023 г., был вновь превышен в июне, июле, октябре и ноябре 2024 г.

Уловы трески в марте 2024 г. варьировали от 1,4 до 333,7 кг за 30-ти минутное траление, в среднем составили 46,3 кг (в марте 2023 г. – 82,9 кг, в 2022 г. – 65,6 кг, 2021 г. – 38,8 кг). Траления за исследуемый период были выполнены в пределах глубинных страт 20-40 м, 40-60 м, 80-100 м, 100-120 м. Наибольшие уловы трески в марте 2022–2024 гг. наблюдались в глубинной страте 40-60 м (прибрежная акватория моря).

Длина трески в уловах колебалась от 8 до 62 см. Отмечена тенденция снижения средней длины и массы. В уловах по-прежнему доминировали мелкоразмерные зрелые особи. Средняя длина в уловах 2024 г. составила 30,4 см при массе 267 г (в марте 2023 г. – 30,1 см при 278 г, в 2022 г. – 31,8 см/ 332 г, в 2021 г. – 33,1 см/ 325 г).

Оценки пополнения трески 2024 г. (поколение 2022 г.) по количеству обловленной молоди размерной группы 25 см и менее, которая составила 25,7 % всей трески против соответствующих показателей 2023 г. – 33,4 %, 2022 г. – 18,4 %, 2021 г. – 14,2 %, свидетельствуют о том, что по данным характеристикам пополнение 2023 г. (поколение 2021 г.) остается наиболее многочисленным после 2018 г. (поколение 2016 г.), ранее оцененного, как среднеурожайное.

В целом результаты учетных траевых съемок в ИЭЗ и территориальном море РФ в 2021 – 2024 г. показали сохранение негативного состояния популяции трески с доминированием мелкоразмерных зрелых особей. Отмечено дальнейшее снижение доли рыб размерной группы 35 см и более.

Результаты моделирования численности запаса трески 25–32 подрайонов Балтийского моря по результатам модели «КАФКА» с применением Фильтра Калмана оказались близки к наблюдениям (рис. 4), что является важным критерием оценки работы модели, поскольку факты всегда остаются мерилом истинности [9].

Оценку запаса трески 25–32 подрайонов Балтийского моря программным комплексом «КАФКА» сравнивали с оценкой моделью Stock Synthesis (SS3), которая представлена рядами до 2024 г. [8; 10]. Такой сравнительный анализ результатов оценок промыслового запаса восточно-балтийской трески и прогнозирования ее промысловой биомассы по двум моделям (КАФКА и SS3) в целом показал хорошее совпадение (рис. 5).

Ретроспективные оценки нерестовой (промысловой) биомассы трески, пополнения и промысловой нагрузки с помощью программного комплекса «КАФКА» постоянны. Так, по результатам параметрического теста Mohn rho, трехлетний (2022–2024 гг.) индекс для биомассы составил 0,01, для пополнения – 0,08, для промыслового изъятия – 0,15. Согласно методическим рекомендациям по оценке качества прогнозов общего допустимого улова, ошибка прогноза ОДУ может составлять +20 % [11]. Оцененные нами параметры с помощью данного индекса для запаса трески ниже 20 %.

Соотношение оцененной и прогнозируемой величины промыслового запаса трески и исторически минимальных значений промысловой нагрузки показывает, что промысел не наносит ущерба запасу, не оказывает влияния на состояние запаса. При низкой, но стабильной величине промысловой биомассы (в последние годы в среднем 70 тыс. т) промыслом изымается лишь менее 1,3 тыс. т всеми странами. При сохранении эксплуатации запаса на минимальном уровне, величина запаса в 2025–2026 гг. несколько увеличится. Однако даже при полном отсутствии промысловой эксплуатации запаса значение нерестовой биомассы в 2026 г. в целом будет близко к биомассе 2025 г.

Материалы донных траевых съемок по камбалае показали, что в последние 7 лет несколько снизились навески крупноразмерных рыб в запасе длиной более 30 см. Однако численность рыб длиной менее 20 см (пополнение) с 2017 г. относительно стабильна. По данным донных траевых съемок 2021–2024 гг. популяция речной камбалы находится в устойчивом состоянии. Отмечено формирование плотных нерестовых скоплений на свале глубин в диапазоне глубин 60–65 м. Биологические показатели демонстрируют незначительные различия размерно-весовых характеристик. Средняя длина рыб в уловах 2024 г. составила 24,9 см при средней массе 167 г (в марте 2023 г. – 24,3 см при 169 г, в 2022 г. – 26,1 см/205 г, в 2021 г. – 25,0 см/166 г).

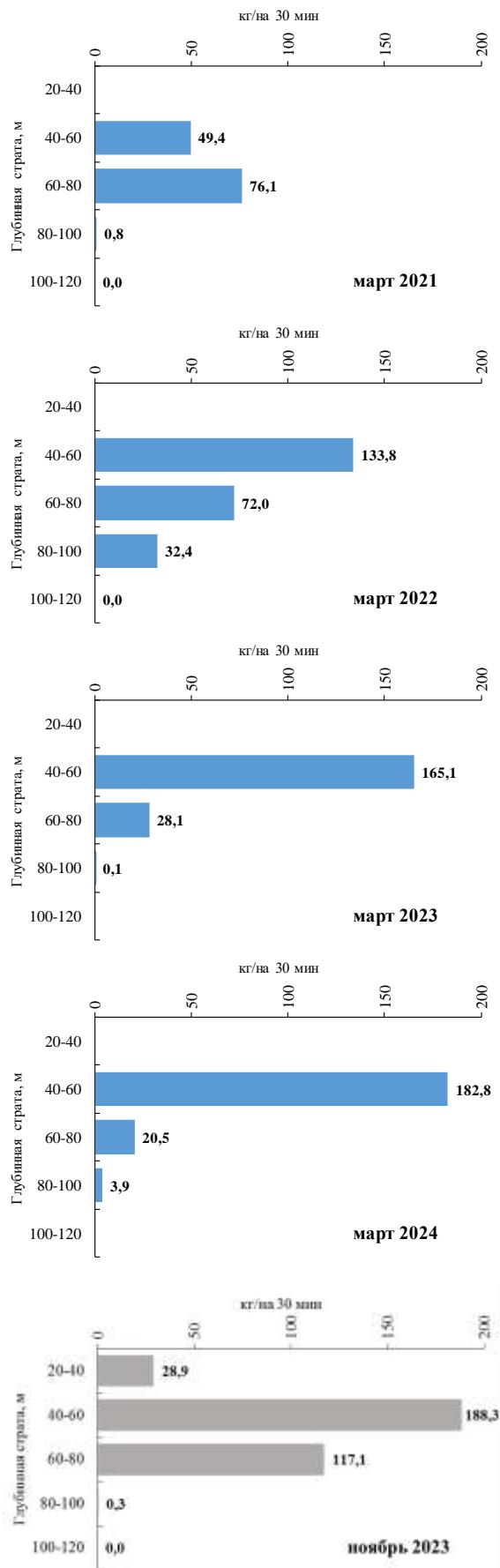


Рис. 3. Средние уловы трески по глубинным стратам по данным донных тралений в 2021–2024 гг. в зоне России 26 подрайона Балтийского моря

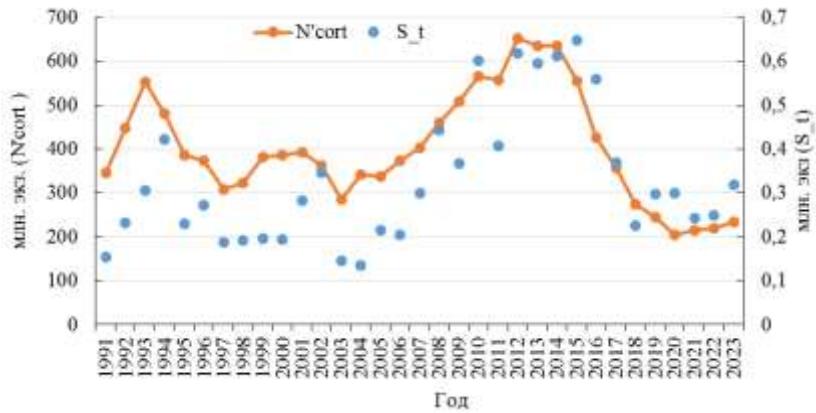


Рис. 4. Динамика запаса трески 25–32 подрайонов Балтийского моря по результатам работы модели «КАФКА» с применением Фильтра Калмана ($N'cort$) на фоне донных траловых съемок по оценке численности и биомассы трески в первом и четвертом кварталах по годам (S_t), млн экз.

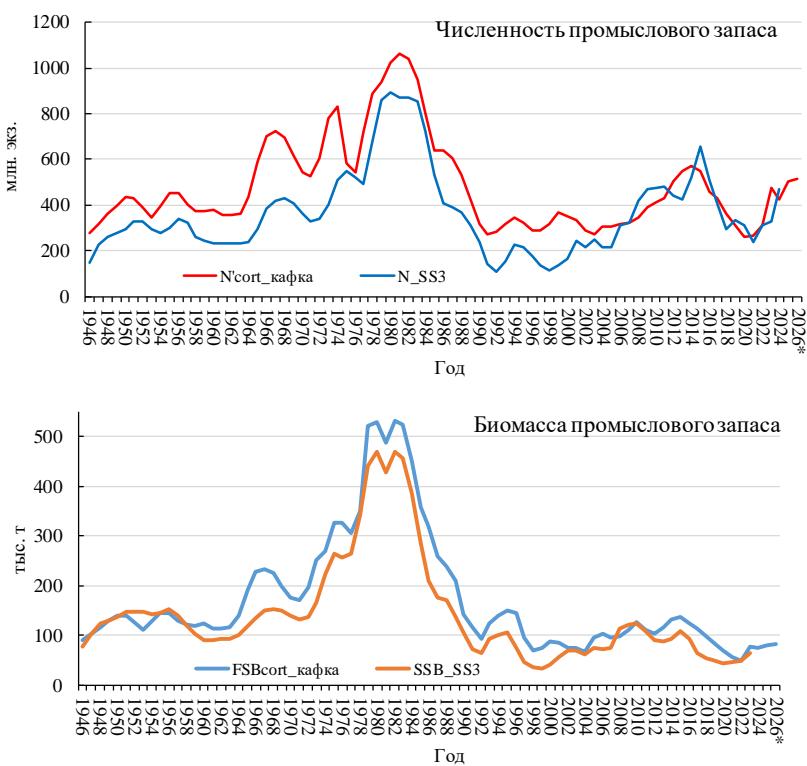


Рис. 5. Динамика численности и биомассы промыслового запаса трески 25–32 подрайонов Балтийского моря по оценкам по результатам расчетов модели КАФКА ($N'cort_кафка$, $FSBcort_кафка$) и с помощью модели SS3 (N_SS3 , SSB_SS3).

Оценка качественного состояния запаса речной камбалы по длине (метод LBI) показал, что промысел направлен на сохранение мелкоразмерной и крупной рыбы (опция сохранения), запас эксплуатируется оптимально и соответствует опции управления максимально устойчивого улова (MSY) [5].

Коэффициент отношения средних величин индексов численности двух последних лет (на рис. 6 цифра 1) близок к предыдущими значениям за три года (на рис. 6 цифра 2). Запас речной камбалы находится в стабильном состоянии.



Рис. 6. Индикаторная биомасса запаса речной камбалы (кг/час траления) для рыболовной более 20 см (1 – средняя величина индикаторной биомассы 2023–2024 гг., 2 – средняя величина индикаторной биомассы 2020–2022 гг.)

Заключение

Прямое и опосредованное влияние климата на водные биологические ресурсы Балтийского моря является важным неблагоприятным (негативным) фактором, определяющим современное состояние, размерно-весовые параметры, репродуктивную способность и динамику основных целевых промысловых рыб Балтики

Проведенные в последние годы непрерывные регулярные научные наблюдения в российской акватории 26 подрайона Балтийского моря по оценке численности пополнения, относительной плотности концентраций основных промысловых донных рыб (трески и речной камбалы) позволили оценить состояние *всего* восточного запаса трески и речной камбалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосова, В. М., Зезера, А. С. 2023. Новый подход к оценке и прогнозированию величины запаса шпрота в Балтийском море в современных условиях // Труды ВНИРО. – 2023. – Т. 194. – С. 118–130. – URL: <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-194-118-130> (дата обращения: 25.05.2025).
2. Амосова, В. М., Зезера, А. С., Голубкова, Т. А. 2022. Влияние факторов среды на величины запасов рыб в Балтийском море // Труды ВНИРО. – Т. 187. – С. 110–127. – URL: <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2022-187-110-127> (дата обращения: 25.05.2025).
3. ICES. 2017. Manual for the Baltic International Trawl Surveys (BITS). Series of ICES Survey Protocols SISP 7 – BITS. – 95 р. – URL: <http://doi.org/10.17895/ices.pub.2883> (дата обращения: 16.06.2025).
4. Momigliano, P., Denys, G. P., Jokinen, H., Merilä, J. 2018. *Platichthys solemdali* sp. nov. (Actinopterygii, Pleuronectiformes): a new flounder species from the Baltic Sea // Frontiers in Marine Science. – Vol. 5. – Р. 225.
5. Амосова, В. М., Иванов, С. В., Гулюгин, С. Ю. Немодельный метод оценивания состояния и прогнозирования вылова запаса речной камбалы 26+28 подрайона ИКЕС Балтийского моря. // Труды ВНИРО. – Т. 196. – 2024. – С. 124–133. – URL: <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-196-124-133> (дата обращения: 24.05.2025).
6. Методическое руководство по планированию и проведению морских экспедиционных исследований запасов промысловых гидробионтов в Атлантическом океане, Юго-Восточной части Тихого океана и в Балтийском море. – Калининград : АтлантНИРО, 2006. – 182 с.
7. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов. – Москва : Издательство ВНИРО, 2018. – 312 с.
8. Амосова, В. М. Об оценке запасов трансграничных видов рыб в Балтийском море в новых условиях развития отечественной рыбохозяйственной науки. Рыбохозяйственный комплекс России:

проблемы и перспективы развития: материалы I Международной научно-практической конференции (28-29 марта 2023 г., г. Москва), ФГБНУ «ВНИРО» / Под ред. К. В. Колончина, О. А. Булатова, Е. Н. Харенко, А. С. Трубы. – Москва : Издательство ВНИРО, 2023. – С. 19–24.

9. Михеев, А. А., Применение фильтра Калмана в когортной модели для корректировки оценок запаса при наличии неучтенного вылова // Вопросы рыболовства. – Т. 17. – № 1. – 2016. – С. 20–41.

10. ICES. 2024. Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES Scientific Reports. 6:53. 584 pp. – URL: <https://doi.org/10.17895/ices.pub.25764978> (дата обращения: 16.06.2025).

11. Бабаян, В. К. Методические рекомендации по оценке качества прогнозов общего допустимого улова (ОДУ): Отраслевой нормативный документ. – Москва, 2003. – 43 с.

TRAWL DEMERSAL FISH SURVEYS IN 2021-2024. THEIR PRACTICAL APPLICATION IN ASSESSMENTS OF COD AND FLOUNDER STOCKS

¹Amosova Victoria Mikhailovna, Ph.D. in Biology, Leading Researcher

²Zezera Alexander Stepanovich, Chief Specialist

^{1,2}Atlantic branch Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹amosova@atlant.vniro.ru, ²zezera@atlant.vniro.ru

Abstract. The values of cod commercial abundance based on Russian observations allowed us to determine the current dynamics of abundance and biomass of the eastern Baltic cod stock. The negative state of its population, characterized by the dominance of small-sized mature individuals, persists. The indices of the abundance of flounder based on bottom trawl surveys indicated a stable state of the stock.

Keywords: The Baltic Sea, cod, flounder, bottom trawl surveys, fish stock assessment

УДК 639.2.053:551.463.8:551.465.8 (261.74);
ГРНТИ 34.35.33

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕСТОНА В ХОДЕ БОЛЬШОЙ АФРИКАНСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ В ВОДАХ МАВРИТАНИИ

¹Архипов Александр Геральдович, д-р биол. наук, научный координатор, профессор кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Дюшков Николай Павлович, заведующий лабораторией гидробиологии, аспирант

³Шнар Владимир Николаевич, канд. геогр. наук,
старший научный сотрудник лаборатории промысловой океанологии

^{1,2,3}Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («АтлантНИРО»), Калининград, Россия, e-mail: ¹arkhipov@atlant.vniro.ru

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹arkhipov@klgtu.ru

Аннотация. Рассмотрены материалы по распределению сестона в исключительной экономической зоне Мавритании, полученные в ходе выполнения Большой африканской экспедиции. Показано совпадение распределения сестона и температуры поверхности океана. Отмечено, что распределение и образование скоплений рыб-планктофагов в значительной степени определяется наличием кормовой базы, а показателем наличия корма являются повышенные концентрации сестона. Проведённые исследования подтвердили, что высокие концентрации сестона могут являться индикаторами наличия скоплений промысловых пелагических рыб.

Ключевые слова: сестон, температура поверхности океана, Мавритания, рыбы-планктофаги, кормовая база, научно-исследовательская съёмка

Введение

Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) – один из ведущих государственных научных центров России по изучению водных биологических ресурсов Мирового океана. Основные океанические районы научных исследований, закреплённые за институтом, охватывают акватории Атлантического океана (включая его антарктическую часть), юго-восточной части Тихого океана и юго-западной части Индийского океана. С начала 2000-х годов АтлантНИРО проводит экспедиционные исследования в основном в Центрально-Восточной Атлантике, где работает российский рыбопромысловый флот. Однако после состоявшегося в 2023 г. Саммита Россия-Африка была достигнута договорённость о проведении в 2024-2025 гг. исследований в исключительных экономических зонах (ИЭЗ) некоторых африканских государств для получения количественных оценок численности и биомассы водных биологических ресурсов в экономических зонах исследуемых государств, а также – для характеристики основных параметров пелагической экосистемы шельфовых вод Африки [1-2].

В августе 2024 года началась Большая африканская экспедиция, которая проводится на двух научных судах Атлантического филиала ВНИРО в ИЭЗ африканских стран Атлантического и Индийского океанов, а также в открытых океанических районах. Проведение экспедиции планируется до конца 2025 г. Следует отметить, что сотрудничество со странами Африки имеет стратегический и долгосрочный характер. Развитие и упрочение взаимовыгодных связей с дружественными государствами относится к числу приоритетов российской внешней политики. И Большая африканская экспедиция является продолжением наращивания сотрудничества России с африканскими странами [1].

В 2025 г. получены первые данные по результатам съёмок, проведённых в ИЭЗ некоторых африканских государств. В предлагаемой работе рассмотрены материалы по распределению сестона в ИЭЗ Мавритании. Сестон – обитающие в толще воды мелкие организмы (в основном фито- и зоопланктон), а также взвешенные в воде неорганические (песчинки) и органические (детрит) частицы, кроме крупных желетелых (оболочников, гребневиков и медуз) [3]. Значительная часть сестона является кормом для рыб на разных стадиях их развития. Поэтому распределение и образование скоплений рыб-планктофагов на разных стадиях онтогенеза в значительной степени определяется наличием корма [4]. А показателем наличия корма в исследуемых акваториях являются повышенные концентрации сестона.

Материал и методика

Пробы сестона в ИЭЗ Мавритании отбирались во время двух комплексных съёмок в сентябре-октябре и в декабре 2024 г. В ходе первой съёмки собрано 47 проб сестона. Во второй съёмке отобрана 31 проба сестона. Для сбора материалов использовали планктоносборщики «Бонго-20» с газом № 38 (шаг ячей 168 - 1444 мк). Ступенчато-косой лов выполняли на трёх-шести горизонтах от 100 м до поверхности (либо от дна до поверхности) по 1,5–3,0 мин. на каждом горизонте. Планктононныи станции на акваториях съёмок располагались перпендикулярно к побережью над глубинами от 30 до 1100 м (рис. 1). Массы сестона рассчитывали непосредственно в море после фильтрации улова сети «Бонго-20». Температура воды измерялась при помощи океанологического комплекса Sea Bird Electronics [5-7].

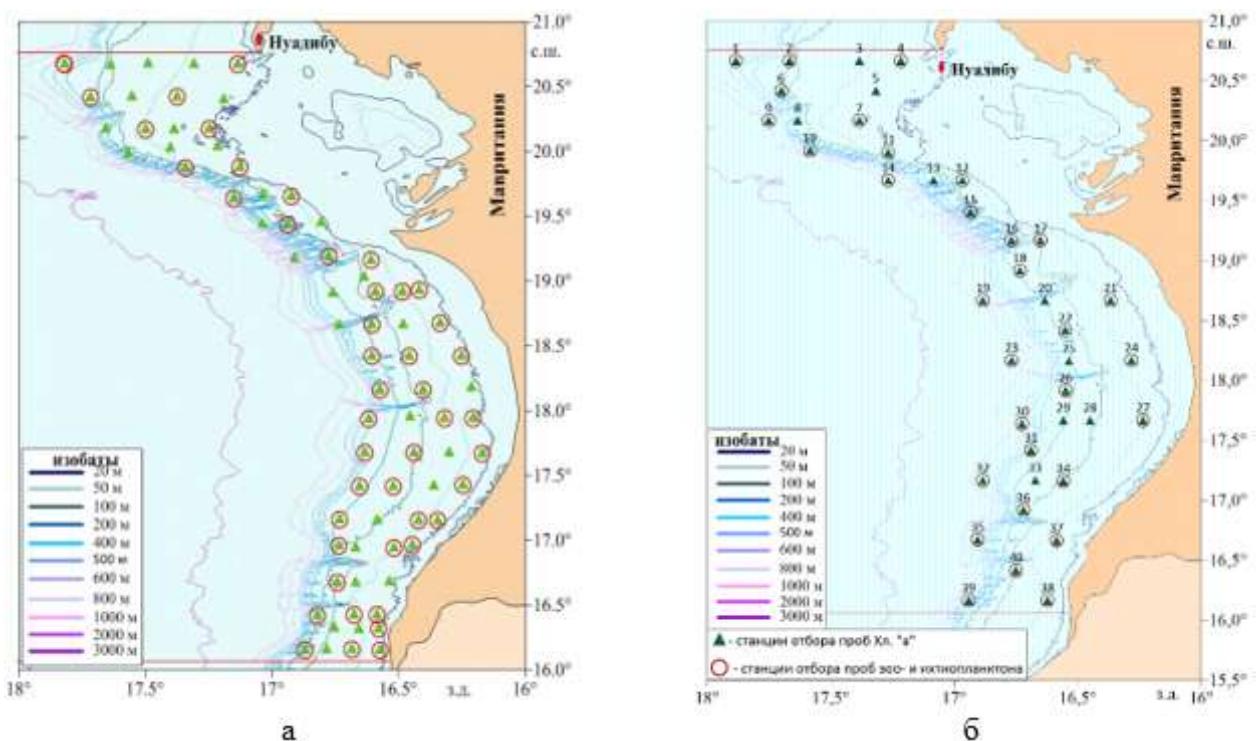


Рис. 1. Схемы станций отбора гидробиологических проб в районе исследований
(а – сентябрьско-октябрьская съёмка, б – декабрьская съёмка)

Результаты и обсуждение

В районе выполнения научно-исследовательских работ распределение сестона было неравномерным. В пробах сестона визуально преобладал зоопланктон, составляя основу его биомассы. Материалы по распределению сестона представлены на рисунке 2.

В сентябрьско-октябрьской съёмке в районе севернее 19° с.ш. были отмечены более высокие значения плотности сестона в сравнении с южной частью. Наибольшая концентрация сестона (3,82-6,08 г/м³) была характерна для шельфовых вод в районе между 20,5° и 19,8° с.ш. над глубинами

19-66 м. В этом районе прослеживался интенсивный апвеллинг, т.е. подъем холодных подповерхностных вод с высокими содержанием биогенов. Наименьшие значения плотности сестона ($0,10-1,0 \text{ г/м}^3$) отмечены для более теплых и бедных минеральными веществами вод океанической зоны, а также для южной части ИЭЗ Мавритании. Хорошо выраженный подъем холодных вод с температурой поверхности океана (ТПО) $17,9-20,0^\circ\text{C}$ отмечался на акватории от мыса Кап-Блан до $19^{\circ}50' \text{ с.ш.}$, южнее апвеллинг ослабевал и прослеживался только в узкой полосе у берега до мыса Тимирикс (рис. 3а). Южнее мыса Тимирикс ($19^{\circ}00' \text{ с.ш.}$) прибрежный апвеллинг в поверхностном слое не прослеживался, ТПО повсеместно превышала $24,0-26,0^\circ\text{C}$. Южнее $18^{\circ}00' \text{ с.ш.}$ с запада на шельф отмечался вынос прогретых океанических вод с температурой на поверхности $28,0-29,1^\circ\text{C}$. Таким образом, повышенная температура наблюдалась на юге Мавритании, а пониженнная, где отмечался интенсивный апвеллинг – на севере. Средневзвешенное значение плотности сестона для района исследований в сентябре-октябре 2024 г. составило $1,04 \text{ г/м}^3$.

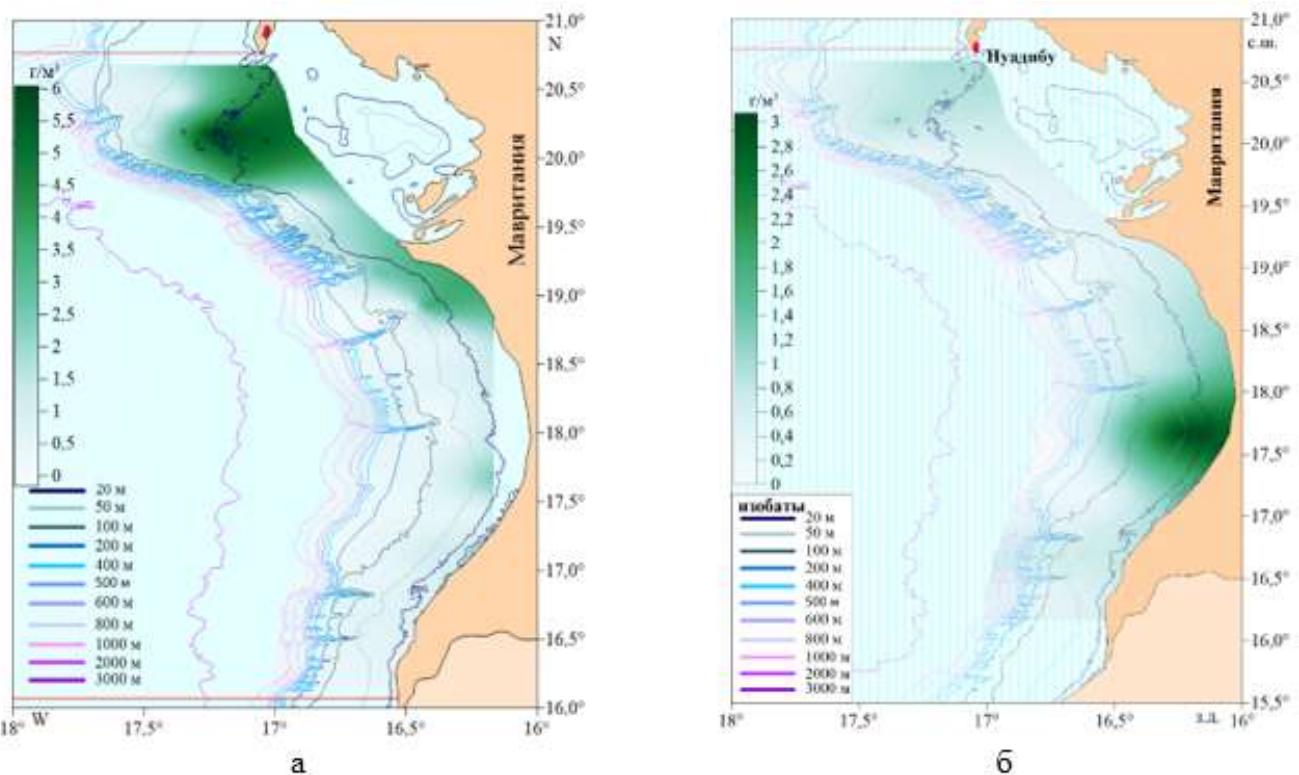


Рис. 2. Пространственное распределение сестона в акватории проведения исследований в ИЭЗ Мавритании (а – в сентябре-октябре 2024 г., б – в декабре 2024 г.)

В декабрьском рейсе плотность сестона изменялась от $0,07$ до $3,09 \text{ г/м}^3$. В районе выполнения научно-исследовательских работ (НИР) распределение массы сестона имело мозаичный характер. Участок максимальной плотности сестона был отмечен в зоне шельфа между $18^{\circ}12' \text{ с.ш.}$ и $17^{\circ}12' \text{ с.ш.}$, что также соответствовало положению очага апвеллинга, наблюдавшегося в период НИР. Значения массы сестона на этом участке составили $0,64-3,09 \text{ г/м}^3$ (среднее $1,55 \text{ г/м}^3$). Также на севере ИЭЗ Мавритании в зоне шельфа были отмечены относительно высокие значения массы сестона между $20^{\circ}30' \text{ с.ш.}$ и $20^{\circ}00' \text{ с.ш.}$, составившие в среднем $0,93 \text{ г/м}^3$. Минимальные значения массы сестона ($0,07-0,14 \text{ г/м}^3$) были приурочены к теплым океаническим водам в районе НИР. Слабый подъем холодных вод прослеживался практически по всей прибрежной части акватории до $16^{\circ}50' \text{ с.ш.}$ Наиболее активный участок апвеллинга отмечался на участке между $19^{\circ}00' - 17^{\circ}20' \text{ с.ш.}$, где ТПО изменялась от $19,2$ до $20,2^\circ\text{C}$. Восточная часть шельфа характеризовалась адвекцией теплых океанических вод с ТПО $21,4 - 23,4^\circ\text{C}$ (рис. 3б). В среднем по району плотность сестона составила $0,48 \text{ г/м}^3$.

Сравнивая результаты двух съёмок можно отметить, что повышенные плотности сестона наблюдались в районах развития интенсивного апвеллинга, т.е. подъема холодных подповерхностных вод с высокими содержанием биогенов. Во время второй съёмки повышенные концентрации сестона сместились к югу, значения его плотности уменьшились более чем в два раза. Также,

по предварительным данным съёмки пополнения в районах высоких концентраций сестона наблюдалась повышенные скопления молоди массовых пелагических рыб, что подтверждает значительное влияние корма на распределение рыб-планктофагов на разных стадиях развития.

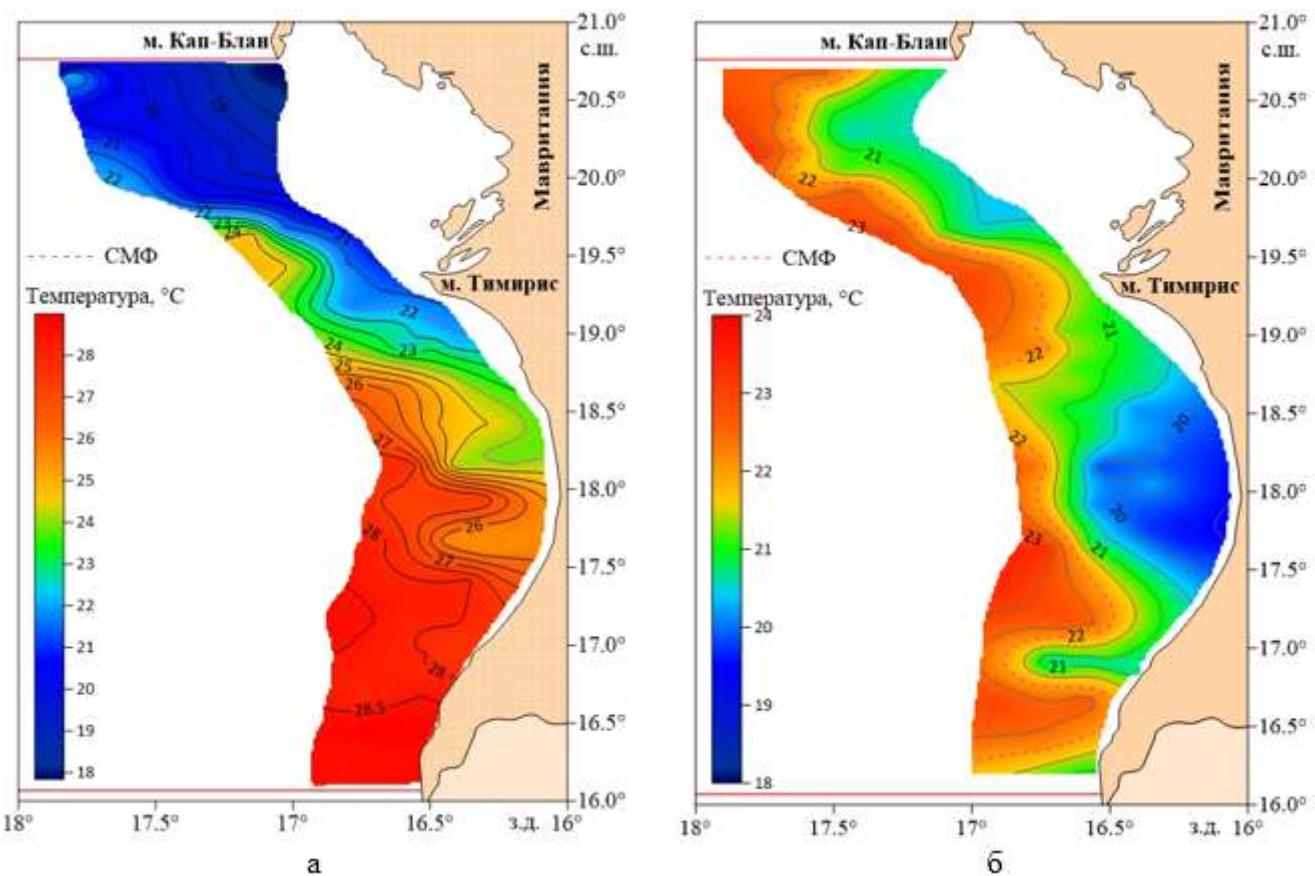


Рис. 3. Распределение температуры воды на поверхности в ИЭЗ Мавритании
(а – в сентябре-октябре 2024 г., б – в декабре 2024 г.)

Заключение

В районе выполнения научно-исследовательских работ в ИЭЗ Мавритании в обеих съёмках распределение сестона было неравномерным. Повышенные плотности сестона наблюдались в районах развития интенсивного апвеллинга, т.е. подъема холодных подповерхностных вод с высоким содержанием биогенов и пониженной температурой. Во время второй съёмки по сравнению с первой повышенные концентрации сестона сместились к югу, а значения плотности сестона уменьшились более чем в два раза. Так, средневзвешенное значение плотности сестона для района исследований в сентябре-октябре 2024 г. составило 1,04 г/м³, а в декабре 2024 г. – 0,48 г/м³. Проведённые исследования подтвердили, что высокие концентрации сестона, оперативно определяемые на борту судна в ходе научно-исследовательских съёмок, могут являться индикаторами наличия скоплений промысловых пелагических рыб на разных стадиях онтогенеза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бандурин, К. В. Атлантическому филиалу ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО») – 75 лет / К. В. Бандурин, А. Г. Архипов, А. В. Андрюхин, Т. А. Голубкова, Г. Е. Маслянкин, В.В. Шендерюк // Рыбное хозяйство. – № 5. – 2024. – С. 11–21.
2. Бандурин, К. В., Архипов, А. Г., Маслянкин, Г. Е. Океанические экспедиционные исследования Атлантического филиала ВНИРО (АтлантНИРО) в 2000–2023 гг. // Рыбное хозяйство. – № 5. – 2024. – С. 22–28.

3. Константинов, А. С. Общая гидробиология. – Москва : Высшая школа, 1986. – 472 с.
4. Пак, Р. А., Архипов, А. Г. Особенности распределения ихтиопланктона северной и южной частей Марокко в поле сестона // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: V Балтийский морской форум. Всероссийская научная конференция. – Калининград : Издательство БГАРФ, 2017. – С. 57–59.
5. Методические указания по сбору проб зоо-, ихтиопланктона планктоносборщиком «Бонго» и их обработке. – Калининград : АтлантНИРО, 1983. – 36 с.
6. Posgay, J. A., Marak, R. R. The MARMAR BONGO zooplankton samplers // Jorn. Northwest Atlant. Fish. Science. – Vol. 1. – 1980. – Pp. 91–99.
7. Методическое руководство по планированию и проведению морских экспедиционных исследований состояния запасов промысловых гидробионтов в Атлантическом океане, Юго-Восточной части Тихого океана и в Балтийском море. – Калининград : АтлантНИРО, 2006. – 182 с.

STUDIES OF THE DISTRIBUTION FEATURES OF SESTON DURING THE GREAT AFRICAN EXPEDITION IN THE WATERS OF MAURITANIA

¹Arkhipov Aleksandr Geral'dovich, doctor of biological sciences, scientific coordinator, professor of the department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

²Dyushkov Nikolay Pavlovich, head of the laboratory of Hydrobiology, postgraduate student

³Shnar Vladimir Nikolaevich, candidate of geographical sciences, senior researcher of the laboratory of Commercial oceanology

^{1,2,3}Atlantic branch Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹arkhipov@atlant.vniro.ru

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹arkhipov@klgtu.ru

Abstract. The article reviews the data on seston distribution in the exclusive economic zone of Mauritania obtained during the Great African Expedition. It shows that seston distribution and ocean surface temperature coincide. It is noted that the distribution and formation of plankton-eating fish aggregations are largely determined by the availability of food resources, and increased seston concentrations are indicators of food availability. The studies have confirmed that high seston concentrations may be indicators of the presence of commercial pelagic fish aggregations.

Keywords: seston, ocean surface temperatures, Mauritania, plankton-eating fish, food supply, research survey

ОЦЕНКА ГОТОВНОСТИ К НЕРЕСТУ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КАРПА НА УЧЕБНО-ОПЫТНОМ ХОЗЯЙСТВЕ КГТУ В СЕЗОНЕ 2025 ГОДА

¹Гончаренок Ольга Евгеньевна, канд. биол. наук,

доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Савина Лиана Валерьевна, канд. биол. наук, доцент, преподаватель

³Ромашова Юлия Алексеевна, аспирант кафедры водных биоресурсов и аквакультуры,
ведущий инженер кафедры водных биоресурсов и аквакультуры;

^{1,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹olga.goncharenok@klgtu.ru, ³yuliya.romashova@klgtu.ru

²Калининградский морской рыбопромышленный колледж»,
Калининград, Россия, e-mail: ²savina_liana@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются некоторые результаты оценки физиологической готовности карпа (*Cyprinus carpio L.*) к нересту в условиях учебно-опытного хозяйства ФГБОУ ВО «КГТУ». Целью являлась оценка качественных характеристик производителей карпа, содержащихся в УОХ КГТУ. Материалом послужили производители карпа, выращенные на учебно-опытном хозяйстве. Проведен внешний осмотр, оценено физиологическое состояние рыб и степень готовности к нересту, измерена масса и длина производителей карпа, предусмотренные бонитировкой рыб.

Ключевые слова: карп, учебно-опытное хозяйство, производители, бонитировка, рыбное хозяйство, степень зрелости, сперма, самки, самцы

Обзор литературы

В последнее время наблюдается стабильный рост доли аквакультуры в мировом производстве рыбы, что делает ее одной из наиболее перспективных отраслей в сфере производства животного белка [1]. Из всех направлений аквакультуры прудовое рыбоводство занимает лидирующие позиции по объему производства товарной рыбы в виде карпа как основного объекта разведения.

Распространенным объектом товарного рыбоводства является обыкновенный карп (*Cyprinus carpio L.*) в силу ряда биологических особенностей, обеспечивающих высокую экономическую эффективность его выращивания. В их числе: высокая экологическая пластичность, проявляющаяся в толерантности к значительным колебаниям гидрохимических параметров воды (таких как содержание кислорода, pH, температуры), а также способность эффективно использовать доступную кормовую базу. Важной биологической особенностью, обеспечивающей успех в рыбоводстве, является и его высокая плодовитость, однако эффективное воспроизводство напрямую зависит от точной диагностики степени зрелости половых продуктов и создания оптимальных условий для нереста [2].

На сегодняшний день известно 29 пород карпа и 7 кроссов, зарегистрированных в Реестре селекционных достижений Российской Федерации. Современные породы карпа характеризуются высокими продуктивными качествами: быстрым ростом, эффективным использованием задаваемых кормов, высокой плодовитостью. Поэтому для успешного воспроизводства крайне важно, чтобы маточное стадо формировалось из высококачественных производителей, полученных на основе лучших достижений селекции [3], что обеспечивает получение жизнестойкого потомства с высокими товарными качествами.

В рыбоводстве массовый отбор сохраняет статус ключевого селекционного метода [4]. Это обусловлено, во-первых, чрезвычайно высокой плодовитостью рыб, которая позволяет применять отбор с интенсивностью, на порядки превышающей возможную в животноводстве. Во-вторых,

масштабы и интенсивность селекционной работы с рыбами пока уступают таковым в традиционном животноводстве. Как следствие, сохраняется значительный уровень генетической изменчивости в популяциях, при котором эффективность массового отбора остается сравнительно высокой.

Бонитировочные работы во многом необходимы для проведения направленной селекции и улучшения ремонтно-маточного стада рыб. Успех массового отбора напрямую зависит от точности и объективности бонитировки - комплексной оценки племенных качеств особи. Поскольку отбор ведется по фенотипическим признакам, критически важно, чтобы эти признаки максимально достоверно отражали генотип и хозяйственную ценность рыбы. Тщательность этой оценки является залогом того, что отобранные производители действительно передадут хозяйственно-полезные качества потомству.

Ключевым элементом бонитировки производителей перед нерестом является оценка их готовности. Для самок она включает визуальный осмотр, измерение массы и длины тела, коэффициента упитанности, экстерьерных показателей, коэффициента зрелости и др. Для самцов оценка готовности включает не только внешний осмотр и биометрические измерения, но и анализ сроков созревания, а также оценку подвижности сперматозоидов. Получаемые в ходе такой комплексной оценки показатели служат важными селекционными признаками, по которым на хозяйстве ведется направленный отбор в сторону улучшения воспроизводительных качеств стада и ранних сроков созревания.

При проведении бонитировки важным является распределение рыб по половому признаку, т. к. присутствие среди самок хотя бы одного самца может вызвать неконтролируемый нерест в прудах [5].

Оценка готовности карпа к нересту в сезоне 2025 года позволит определить эффективность применяемых на рыбоводном хозяйстве технологий и спрогнозировать результаты воспроизводства.

Материалы и методы

Исследования проводили при облове зимне-маточных прудов учебного опытного хозяйства (УОХ) КГТУ с 17 по 18 апреля.

Учебно-опытное хозяйство ФГБОУ ВО «КГТУ» представляет собой полносистемное товарное прудовое хозяйство с трехлетним оборотом. Основными объектами разведения являются: карп, белый и ёрёстрый толстолобики и их гибриды, белый амур, щука. Площадь хозяйства составляет 20 га.

В состав хозяйства входят летние и зимние пруды (32 всего, из них 14 – бетонные и 2 не эксплуатируются), инкубационный цех с 9 аппаратами Вейса и пластиковыми бассейнами.

Водоподача осуществляется самотеком из Исаковского озера (Чистый пруд). Водоспуск со всех прудов объединён в один сбросной канал, впадающий в р. Преголь.

В 2020 году на хозяйство был завезен карп парской породы с внутриворондным типом московский чешуйчатый. Данная порода карпа отличается высокой выживаемостью и пластичностью, легко адаптируется к новым климатическим условиям и подходит для разведения и реализации товарной продукции во второй рыбоводной зоне. Московский чешуйчатый тип парской породы приспособлен к заводскому способу воспроизводства, отличается высокими репродуктивными показателями самок и самцов, ускоренным темпом роста и хорошей жизнеспособностью потомства на всех этапах производственного процесса. Рабочая плодовитость самок превышает рыбоводно-биологические нормы в 2-3 раза и в среднем составляет 900-1200 тыс. шт. икринок [6, 7].

Бонитировка ремонтно-маточного стада карпа проводилась по общепринятым методикам [8, 9]. При внешнем осмотре оценивали всю рыбу, характер чешуйного покрова, наличие или отсутствие смещения рядов чешуй, характер боковой линии, вторичные половые признаки особей, степень зрелости, наличие признаков заболевания, травм и уродств.

Массу производителей карпа устанавливали на основании индивидуального взвешивания с точностью до 50 г. Для снятия промеров у производителей использовали измерительную доску и мерную ленту. Измерения проводили с точностью до 0,5 см. Длину тела измеряли от вершины рыла до конца чешуйного покрова. При измерении следили за тем, чтобы рыба лежала на правом боку, касаясь спиной боковой стенки измерительной доски, а концом рыла - передней. При этом рот рыбы при определении длины тела должен быть закрыт [9].

Пол у производителей карпа определяли по внешним признакам, а именно:

- 1) у самок анально-половое отверстие большое, несколько припухшее, красноватое, брюшная полость увеличена вследствие сильного развития яичников;
- 2) у самцов анально-половое отверстие вытянуто и представляет собой узкую бледно-окрашенную треугольную щель с втянутым сосочком, на голове и жаберных крышках перед нерестом появляются слабо выраженные небольшие шероховатые бугорки, представляющие собой брачный наряд (так называемая «жемчужная сыпь») [5].

Для оценки качества половых продуктов у текучих самцов были отобраны пробы спермы. Сперму сжимали в сухие стерильные пробирки, наклеивали этикетку и помещали в термос со льдом. В лабораторных условиях проводили оценку времени подвижности сперматозоидов. Для этого гистологической иглой брали сперму из пробирки и помещали на предметное стекло, добавляли каплю воды и рассматривали микроскопом, фиксируя с помощью секундомера продолжительность поступательного движения сперматозоидов.

Для оценки качества спермы производителей карпа использовали шкалу Г.М. Персона (Персон, 1941):

- 1) 5 баллов - наблюдается поступательное движение всех сперматозоидов (сперма отличного качества);
- 2) 4 балла - заметно поступательное движение большинства сперматозоидов, но в поле зрения встречаются сперматозоиды с зигзагообразным и колебательным движением (сперма хорошего качества);
- 3) 3 балла - зигзагообразное и колебательное движение преобладает над поступательным, имеются неподвижные сперматозоиды (сперма удовлетворительного качества);
- 4) 2 балла – поступательное движение отсутствует, наблюдается только колебательное и изредка зигзагообразное, большой процент неподвижных сперматозоидов (до 75 %);
- 5) 1 балл – все сперматозоиды неподвижны [10].

Результаты исследования

В результате проведенных бонитировочных работ был получены данные, характеризующие состояние ремонтно-маточного стада карпа на УОХ КГТУ в преднерестовый период 2025 г. Полученные результаты позволяют оценить как общее физиологическое состояние производителей, так и их конкретную готовность к нерестовой кампании. За весь период исследований было промерено 22 самки и 28 самцов. Все производители имели разбросанный тип чешуйного покрова.

В таблице 1 указаны основные результаты массовых промеров производителей карпа.

Таблица 1
Результаты массовых промеров производителей карпа на УОХ КГТУ

Пол	Длина тела, см	Масса тела, г	Количество рыб, шт.
Самки	52,43±0,88	4918,04±152,59	22
Самцы	49,40±0,66	4296,90±104,43	28

Длина и масса тела самок карпа варьировала от 44 до 58 см и от 3670 до 6645 г, соответственно. Минимальная длина и масса самцов карпа составили 43 см и 3340 г, максимальная – 57 см и 5485 г, соответственно.



Рис. 1. Проведение массовых промеров производителей карпа

При осмотре самок и самцов отмечали наличие ран, кровоизлияний и сапролегни. При этом сапролегнией были поражены 7 самок (32 %) и 7 самцов (25 %). Раны и ушибы отмечали у 3 самок (14 %) и 13 самцов (46 %).

Пораженные сапролегнией производители были отсажены в бассейны инкубационного цеха и обработаны слабо-розовым раствором марганцевокислого калия.

При оценке степени зрелости производителей карпа нами было отмечено, что из 22 просмотренных самок 11 особей были тугими на ощупь и соответствовали первой группе далеких от зрелости самок. Эти производители были отбракованы и переведены в нагульные пруды для восстановления и возможного использования в следующем сезоне после дополнительного осмотра. Шесть самок, характеризовавшихся умеренной мягкостью брюшка при пальпации и средне выраженной развитостью генитального отверстия, были отобраны для преднерестового выдерживания. Пять самок с максимальной степенью зрелости, проявлявшейся в мягкой консистенции брюшной полости, выраженной припухлости генитального отверстия и спонтанной экструзии овариальной жидкости при легком надавливании, были признаны готовыми к нересту и рекомендованы в качестве приоритетных производителей для нерестовой кампании.

У самцов была отмечена существенно более высокая готовность к нересту по сравнению с самками: 68 % особей проявляли признаки спермации, остальные особи характеризовались твердым брюшком, прогонистой формой тела и неразвитым генитальным отверстием. Наличие брачного наряда в виде жемчужной сыпи было зафиксировано у 14 самцов (50 % от общего количества), что дополнительно подтверждало их половую зрелость.

Качество половых продуктов самцов оценивали по ряду показателей: визуальным характеристикам (цвет, однородность), физическим свойствам (консистенция) и функциональной активности (время подвижности сперматозоидов после активации).



Рис. 2. Взятие проб спермы у самцов карпа

По первым двум критериям сперма характеризовалась как качественная, что проявлялось в характерной для карпа цветовой характеристики. Сперма у всех самцов была молочно-белой окраски, свидетельствующая об отсутствии посторонних примесей и дегенеративных изменений; однородной консистенции, умеренно густая, без видимых включений, сгустков или признаков преждевременной активации. При легком надавливании на брюшко самца сперма выделялась компактной струей, а не отдельными каплями.

В результате исследований выявлено, что у созревших производителей среднее время подвижности сперматозоидов составило $1,57 \pm 0,33$ минуты. Данный показатель соответствует высоким значениям для культурного карпа, однако является минимально допустимым для породной группы.

Для искусственного воспроизводства было отобрано пять самцов с наилучшими показателями подвижности сперматозоидов ($1,64 \pm 0,52$). Остальные производители размещены в пруду № 24 для организации «дикого» нереста [11].

Ввиду отсутствия текущих самок оценить качество икры не удалось.

Заключение

Проведенные исследования по оценке готовности к нересту производителей карпа парской породы [12] в условиях УОХ КГТУ в сезоне 2025 года позволили получить следующие основные результаты:

1. Установлено дисгармоничное созревание маточного стада: в то время как 68 % самцов достигли стадии спермации, только 23 % самок (5 особей) были признаны полностью готовыми к нересту. Значительная часть самок (50 %) показала сильную задержку в созревании гонад. В данном случае нельзя исключать климатические аномалии.

2. Выявлены существенные проблемы физиологического состояния производителей: высокая степень травматизма (46 % самцов с ранами и ушибами) и распространение сапролегниоза (25-32 % особей), что указывает на необходимость оптимизации условий зимовки и преднерестового содержания.

3. Качество спермы самцов по визуальным характеристикам и физическим свойствам соответствовало высшему баллу, а по функциональной активности характеризовалось как удовлетворительное: среднее время подвижности сперматозоидов ($1,57 \pm 0,33$ мин) соответствует видовой норме, однако показатель находится на нижней границе допустимого для породной группы.

4. Селекционно-племенная работа организована с учетом индивидуальных показателей производителей: для искусственного воспроизводства отобраны особи с оптимальными репродуктивными характеристиками (5 самок и 5 самцов), тогда как остальная часть производителей, проявляющая признаки созревания, использована для проведения естественного нереста. Оставшиеся производители после профилактических мероприятий отправлены на нагул с целью восстановления физиологического состояния.

В результате проведенной бонитировки производителей карпа были даны следующие рекомендации, которые позволяют усовершенствовать технологию воспроизводства и выращивания товарного карпа на УОХ КГТУ:

- 1) Разработать мероприятия по оптимизации преднерестового содержания производителей (корректировка кормления, гидрохимического режима, противопаразитарная обработка и пр.);
- 2) Внедрить протокол гормональной стимуляции для синхронизации созревания производителей;
- 3) Усилить ветеринарный контроль за состоянием рыб в преднерестовый период;
- 4) Провести контроль условий зимовки маточного стада карпа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов, К. В., Андреева, И. Г., Метелева, М. Г. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры: федеральный и региональный аспекты // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2019. – №14-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya-akvakultury-federalnyy-i-regionalnyy-aspeky> (дата обращения: 19.08.2025).

2. Поляков, А. Д., Бузмаков, Г. Т., Рассолов, С. Н. Воспроизводство и выращивание карпа комбинированным прудово-индустриальным способом // Успехи современного естествознания. 2009. – № 6. – С. 68–69. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=13897> (дата обращения: 07.09.2025).
3. Хрусталев, Е. И., Молчанова, К. А., Теклу, Г. Г Оценка качества производителей карпа на УОХ КГТУ / Е. И. Хрусталев // Балтийский морской форум : материалы VIII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. – 2020. – Т. 3. – С. 49–52.
4. Дементьев, В. Н. Селекционная оценка самцов карпа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 1998. – 18 с.
5. Таразевич, Е. В. Репродуктивные показатели трёхмянской породы карпа 9–10 селекционных поколений и факторы, влияющие на них // Агропанорама. – 2021. – № 2. – С. 20–23.
6. Аквакультура / В. И. Козлов, А. Л. Никифоров-Никишин, А. Л. Бородин. – Москва : МГУТУ, 2004. – 433 с.
7. Селекционно-племенная работа в рыбоводстве : учебник для вузов / В. А. Власов, Г. И. Пронина. – 2-е изд., стереотип. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 212 с.
8. Товарное рыбоводство. Практикум : учебное пособие / З. П. Ворошилина, В. Г. Саковская Е.И. Хрусталев. – Калининград : Издательство КГТУ, 2005. – 275 с.
9. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). – Москва : Пищевая промышленность, 1966. – 377 с.
10. Инструкция по бонитировке карпов. – URL: http://old.mcx.ru/documents/document/v7_show/6253.191.htm (дата обращения: 13.07.2025).
11. Руководство по искусственно воспроизводству осетровых рыб // Технические доклады ФАО по рыбному хозяйству и аквакультуре / М. С. Чебанов; Е. В. Галич. – № 558. – ФАО : Анкара, 2011. – 297 с.
12. Каталог пород, кроссов и одомашненных форм рыб России и СНГ // А. К. Богерук, Н. Ю Евтихеева, Ю. И. Илясов. – Москва, 2001. – 206 с.

CHARACTERISTIC OF CARP LARVES GROWED ON THE TRAINING AND EXPERIMENTAL FARM OF KSTU IN THE 2025 SEASON

¹Goncharenok Olga Evgenievna, PhD in Biology;

Associate Professor of the Department of Aquaculture

²Savina Liana Valerievna, PhD by Biology, Associate Professor, lecturer

³Romashova Yuliya Alekseevna, postgraduate student of the Department of Aquatic bioresources and aquaculture, lead engineer of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

^{1,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹olga.goncharenok@klgtu.ru, ³yuliya.romashova@klgtu.ru

²Kaliningrad maritime fishery college, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ²savina_liana@mail.ru

Abstract. The article discusses some of the results of assessing the physiological readiness of carp (*Cyprinus carpio L.*) to spawn in the conditions of an educational and experimental farm of the KSTU. The purpose of this study was to evaluate the quality characteristics of carp producers kept in the KSTU farm. The material for the study was carp producers grown on a pilot farm. An external inspection was carried out, the physiological condition of the fish and the degree of readiness for spawning were assessed, the weight and length of the carp producers provided for by fish bonification were measured.

Keywords: carp, experimental farming, producers, bonification, fisheries, degree of maturity, sperm, females, males

ПАРАЗИТОЦЕНОЗ РЯПУШКИ (*COREGONUS ALBULA L.*) ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО В 2024 ГОДУ

¹Заостровцева Софья Константиновна, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Малышев Антон Вадимович, бакалавр

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹zaostrov@klgtu.ru

Аннотация. Представлен анализ паразитоценоза ряпушки в 2024 году, в котором цестода *Proteocephalus exiguius* и паразитический ракоч *Ergasilus briani* показали наиболее высокую зараженность (99 % и 95 %, соответственно), а зараженность *Henneguya zschorkei* невысока и составила 36 %, однако это является высоким показателем, если смотреть на динамику за все годы. Большое количество паразитов в ряпушке вызывает тревогу. Стабильные очаги инвазии, сформированные паразитами, требуют изучения. Наличие протеоцефалеза, эргазилеза и инвазии миксоспоридией *Henneguya zschorkei* влияют на рост и количество ряпушки в водоёме.

Ключевые слова: ряпушка, биологическая характеристика, озеро Виштынецкое, паразитоценоз ряпушки озера Виштынецкого, динамика заражения ряпушки в озере

Виштынецкое озеро – уникальный водоём Калининградской области, являющийся самым крупным в регионе, отличается высокой прозрачностью воды, устойчивой стратификацией и богатым биоразнообразием [1]. Ледниковое происхождение, возраст (около 20 тыс. лет), чистота воды и сложная гидрологическая структура делают его важным объектом экологических и рыбохозяйственных исследований. Ряпушка, ключевой промысловый вид озера, играет значительную роль в его экосистеме.

Паразитические организмы оказывают прямое или косвенное воздействие на рыб, влияя на их развитие, численность популяции, товарный вид и вкусовые качества. Механическое и токсикологическое воздействие паразитов может приводить к ухудшению состояния рыб, а в некоторых случаях к их гибели. Изучение паразитофауны ряпушки и связанных с ней заболеваний является важной частью рыбохозяйственных исследований. Многие паразиты не представляют серьёзной угрозы для ее популяции, но встречаются виды, способные вызывать значительные патологические изменения у своих хозяев и портить их товарный вид.

Регулярный мониторинг состояния популяции ряпушки, включая паразитологические исследования, необходим для разработки мер по её сохранению и рациональному использованию.

Материал взят из уловов ряпушки летом 2024 года. Всего было проанализировано 130 экземпляров ряпушки, относящихся к десяти размерным группам, отмеченным в уловах – от 9 до 19 см. В основе паразитологического исследования – метод полного паразитологического анализа рыб Быховской-Павловской [2].

Был проведен количественный подсчет интенсивности инвазии, определен индекс обилия (за исключением простейших). Для каждого отмеченного вида паразитов определена экстенсивность инвазии. Исходя из систематической группы паразитических организмов был подобран специфический метод их обработки.

В задачи исследования входила не только оценка общей паразитологической картины исследуемой популяции ряпушки, но и выявление закономерностей в интенсивности, а также общих изменений ее зараженности по мере роста рыбы. Реализация поставленной задачи решалась на основе анализа представленного материала по размерным группам – через 1,0 см. Так для каждой размерной группы производилась оценка зараженности наиболее часто встречающимися видами паразитофауны. *Proteocephalus exiguius* и *Ergasilus briani* отнесены к паразитам, которые являются потенциально опасными для ряпушки

и способствуют ее гибели. Этих паразитов можно достаточно быстро идентифицировать.

Первые исследования перезитофауны ряпушки озера Виштынецкого принадлежат Евланову И. А. [3], который начал свою работу по данному направлению в начале 80-х годов XX века. Начиная с 2009 года подобные исследования проводятся ежегодно [4, 5, 6, 7].

В паразитофауне ряпушки обнаружено девять видов паразитических организмов. Это миксоспоридии *Myxobolus evdokimovae* и *Henneguya zschorkei*, инфузория *Trichodina sp.*, цестода *Proteocephalus exiguis*, нематода *Nematoda sp.*, пиявка *Piscicola geometra*, глохиции моллюсков *Glochidia gen. sp.*, ракообразные *Ergasilus briani* и *Argulus foliaceus* (табл. 1).

Таблица 1
Паразитофауна ряпушки озера Виштынецкого

№ п/п	Паразит	Год	
		1982	2024
1	<i>Myxobolus evdokimovae</i>	+	
2	<i>Henneguya zschorkei</i>		+
3	<i>Trichodina sp.</i>	+	
4	<i>Proteocephalus exiguis</i>	+	+
5	<i>Piscicola geometra</i>	+	
6	<i>Nematoda sp.</i>	+	
7	<i>Glochidia gen. sp.</i>	+	
8	<i>Ergasilus briani</i>	+	+
9	<i>Argulus foliaceus</i>	+	

В 2024 году в паразитофауне ряпушки простейшие организмы представлены одним видом: миксоспоридией *Henneguya zschorkei*, цисты которой обычно расположены в мускулатуре и подкожной клетчатке. Они портят товарный вид рыбы, т.к. цисты хорошо видны невооруженным глазом.

При сильном заражении паразит может вызвать бугорковую болезнь лососевидных рыб [8] (рис. 1).



Рис. 1. Цисты *Henneguya zschorkei* в мускулатуре ряпушки

Экстенсивность инвазии миксоспоридией *H. zschorkei* составила 36,36 %.

В водоемах Северо-Запада России миксоспоридия *H. zschorkei* относится к специальному паразиту, характерному для лососевых и сиговых рыб. Достаточно часто отмечаются случаи массового заражения рыбы, с дальнейшей ее гибелью. При этом у экземпляров рыб отмечается значительная порча ее товарного вида [9].

После акклиматизации рипуса в озере Виштынецком, начатой в 2001 году Литвой, произошел переход данного паразита, специфичного к сиговым и лососевым, на ряпушку оз. Виштынецкого, после чего данный паразит постоянно регистрируется на *Coregonus albula* L.

Распространение данной миксоспоридии в Виштынецком озере – потенциальная угроза для местных сига и ряпушки. Увеличению численности данного паразита могут способствовать глобальные климатические изменения, так как *H. zschorkei* – представитель арктического пресноводного фаунистического комплекса и южная граница ее ареала проходит по водоемам Невского округа Балтийской провинции.

Изменение физико-химических, гидрологических и экологических факторов среды (температурного режима, усиление эвтрофикации и др.) может привести к вспышке миксоспоридиоза ряпушки.

Из цестод был обнаружен *Proteocephalus exiguis* – арктический пресноводный вид, который локализовался в желудочно-кишечном тракте ряпушки. При вскрытии летом 2024 года мы одновременно обнаруживали взрослых паразитов, у которых была хорошо сформирована стробила и совсем молодые формы (рис. 2), что свидетельствует о постоянной инвазии ряпушки в озере. Все возрастные группы рыб подвержены заболеванию.



Рис. 2. Цестода *Proteocephalus exiguis* – вид под бинокуляром

Заражение данным видом цестоды происходит через пищевую сеть посредством употребления в пищу рыбой планктонных ракообразных родов Cyclops, Eucyclops, Mesocyclops и др., которые являются первыми промежуточными хозяевами паразита. Наиболее опасны цестодозы для молоди сиговых, т.к. из-за возможной закупорки кишечника гельминтами происходит гибель рыбы (рис. 3).



Рис. 3. Цестода *Proteocephalus exiguis* в кишечнике ряпушки

Экстенсивность инвазии данной цестодой составила 99,39 %, количество паразитов доходило до 120 экз. в хозяине. Индекс обилия составил 20 паразитов на одну рыбу.

Такие высокие интенсивность и экстенсивность инвазии ряпушки цестодой *P. exiguis* указывают на то, что в составе зоопланктона озера преобладает группа копепод, составляющая основу питания рыбы.

Размерные группы ряпушки 9-13 см и 15-16 см на 100 % заражены паразитом, у рыб длиной 14 см несколько ниже зараженность - 93 %. Особи длиной более 16 см были свободны от паразита (табл. 2).

Паразит обладает высокой токсичностью и оказывает значительное механическое воздействие на кишечник хозяина, вызывая его закупорку, истощение и воспаление слизистой оболочки. Снижение в уловах ряпушки особей крупнее 15 см может свидетельствовать как о гибели рыбы от паразита, так и о резком замедлении темпа ее роста под паразитарной нагрузкой.

Можно сделать вывод, что очаг протеоцефалеза достаточно устойчив в озере. Этому способствует то, что ряпушка питается зоопланктоном, в котором в озере преобладают организмы копеподитной группы. Копеподиты в свою очередь являются индикаторами уровня трофности водоема.

Ergasilus briani – копепода, в озере Виштынецком паразитирует на нескольких видах пресноводных рыб. Это основные представители озерных и речных ихтиоценозов умеренной полосы окунь, ерш, щука и др., но особенно сильно паразит заражает ряпушку, а с 1982 года на жабрах ряпушки регистрируется постоянно. Паразит деформирует и разрывает жаберные лепестки, сдавливает сосуды, вызывая закупорку, вызывает интоксикацию организма, что нередко приводит к гибели рыб. Цикл развития прямой. От температуры воды зависят сроки развития рака от яйца до половозрелой особи.

В 2024 году экстенсивность инвазии составила 95,4 %, интенсивность – до 119 экз., индекс обилия – 16 экз. на одну рыбу.

Таблица 2
Зараженность *P. exiguis* разных возрастных групп ряпушки в 2024 году

Размерная группа, см	Количество рыб, экз.	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз
9	15	100	от 1 до 21
10	17	100	от 1 до 16
11	15	100	от 1 до 31
12	16	100	от 3 до 75
13	15	100	от 5 до 49
14	15	93	от 0 до 37
15	15	100	от 3 до 46
16	15	100	от 2 до 120
17	4	-	-
18	2	-	-
19	1	-	-

Прикрепление науплиусов раков к молоди ряпушки происходит как правило в июне, далее в летнее время заражение начинает увеличиваться. Заражение отмечается уже у 9-см ряпушки, а ряпушка из размерного ряда 11,0 см заражена на 100 % данным паразитом (рис. 4, табл. 3).



Рис. 4. *Ergasilus briani* на жабрах ряпушки

Зараженность *E. briani* ряпушки в 2024 году

Размерная группа, см	Количество рыб, экз.	Экстенсивность, %	Интенсивность, экз.
9	15	80 %	от 0 до 6
10	17	76 %	от 0 до 10
11	15	100 %	от 1 до 11
12	16	100 %	от 1 до 64
13	15	100 %	от 4 до 31
14	15	100 %	от 8 до 117
15	15	100 %	от 5 до 77
16	15	93 %	от 0 до 51
17	4	-	-
18	2	-	-
19	1	-	-

Наши многолетние наблюдения за заражением ряпушки озера Виштынецкое данным паразитом позволяет сделать вывод, что в озере сформировался естественный очаг эргазилеза рыб. Этот факт необходимо учитывать при планировании любых рыбохозяйственных работ в области аквакультуры, а также акклиматизационных работ с сиговыми в оз. Виштынецком.

Из всего сказанного можно сделать вывод: два вида паразитов: *P. exiguis* и *E. briani* оказывают наибольшее влияние на численность ряпушки в озере. С увеличением размера рыбы наблюдается и возрастание экстенсивности и интенсивности инвазии для обоих видов паразитов.

Для девятисантиметровой ряпушки экстенсивность инвазии составила 100 % *P. exiguis* и 80 % *E. briani*, с 11 см – 100 % для обоих видов. Наибольшая интенсивность заражения *P. exiguis* составила для 9 см рыбы 21 экземпляр паразита в хозяине, 16 см – 120. Максимальная интенсивность инвазии *E. briani* составила: для девятисантиметровой ряпушки 6 экземпляров паразита на хозяине, 14 см – 117. Пик заражения достигается у рыбы размером 15-16 см. Далее оба показателя снижаются. Можно сделать предположение, что часть популяции ряпушки Виштынецкого озера от заражения указанными видами паразитов погибает, что приводит к изменению размерной структуры популяции.

Наличие протеоцефалеза, эргазилеза и инвазия миксоспоридией *Henneguya zschokkei* представляет серьёзную угрозу для ряпушки.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости постоянного мониторинга паразитофауны ряпушки для своевременного выявления изменений в структуре популяции и разработки мер по её охране. Устойчивые очаги инвазии, сформированные выявленными паразитами, требуют дальнейшего изучения, включая влияние абиотических факторов на динамику заражения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С. В. Шибаев, М. М. Хлопников, А. В. Соколов и др. – Калининград : ИП Мишуткина, 2008. – 200 с.
2. Быховская-Павловская, И. Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. – Ленинград : Наука, 1985. – 121 с.
3. Евланов, И. А. Паразитофауна рыб водоемов Калининградской области и ее значение при их рыбохозяйственном использовании : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Калининград, 1982. – 24 с.
4. О возможном влиянии некоторых паразитов ряпушки (*Coregonus albula* (L.)) на численность ее популяции в озере Виштынецком Калининградской области / Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, С. В. Шибаев // Известия КГТУ. – 2010. – № 19. – С. 180–187.
5. Паразитофауна ряпушки (*Coregonus albula* (L.)) озера Виштынецкого / С. К. Заостровцева, Е. Б. Евдокимова, С. В. Шибаев, И. В. Козырь // Инновации в науке и образовании : труды VII юбилейной научной конференции. – Калининград : ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. – № 4. – С. 57–59.

6. Паразитологическая ситуация в популяции ряпушки (*Coregonus albula* L.) озера Виштынецкого Калининградской области в связи с проблемой динамики ее численности / Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, С. В. Шибаев, И. В. Козырь // Инновации в науке и образовании : труды научной конференции. – Калининград : ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. – С. 35–36.

7. Экологические особенности паразитофауны ряпушки (*Coregonus albula* L.) озера Виштынецкого (Калининградская область) / Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева, С. В. Шибаев // Биологические науки. – 2011. – № 15. – С. 53–60.

8. Богданова, Е. А. Паразитофауна и заболевания рыб крупных озер Северо-Запада России в период антропогенного преобразования их экосистем. – Санкт-Петербург, 1995. – 138 с.

9. Васильков, Г. В. Паразитарные болезни рыб и санитарная оценка рыбной продукции. – Москва : Издательство ВНИРО, 1999. – 191 с.

PARASITOCENOSIS OF VENDACE (*COREGONUS ALBULA* L.) OF LAKE VISHTYNETSKOYE IN 2024

¹Zaostrovtseva Sofia Konstantinovna, PhD in Biology;
Associate Professor of the Department of Aquaculture

²Malyshev Anton Vadimovich, bachelor

^{1,2}Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹zaostrov@kltgu.ru

Abstract. In 2024, the highest infestation is with the cestode *Proteocephalus exiguum* and the parasitic crustacean *Ergasilus briani*, 99 % and 95 %, respectively, and the infestation with *Henneguya zschorkei* is not high and amounted to 36 %, however, this is a high figure if you look at the dynamics for all years. A large number of parasites in vendace is alarming. Stable foci of invasion formed by parasites require study. The presence of proteocephalosis, ergasilosis and *Henneguya zschorkei* invasion affect the growth and number of vendace in the reservoir.

Keywords: vendace, biological characteristics, Lake Vishtynetskoe, parasitocenosis of vendace of Lake Vishtynetskoe, dynamics of infection of vendace in the lake

ПИТАНИЕ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS* В ПРУДАХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Зелененко Владислав Витальевич, специалист отдела аквакультуры беспозвоночных

²Борисов Ростислав Русланович, д-р биол. наук,

ведущий научный сотрудник отдела аквакультуры беспозвоночных

³Воробьева Лада Владиславовна, старший специалист
отдела аквакультуры беспозвоночных

⁴Бубунец Эдуард Владимирович, д-р с.-х. наук;

и.о. заведующего кафедры аквакультуры и пчеловодства

^{4;5}Жигин Алексей Васильевич, д-р с.-х.;

главный научный сотрудник отдела аквакультуры беспозвоночных;
профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства

^{1,2,3,5} ГНЦ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия,

е-mail: ¹zelenenko@vniro.ru, ²borisovrr@vniro.ru, ³vorobjeva.lada@yandex.ru, ⁵crusta-
cealab@vniro.ru

⁴ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева», Москва, Россия,

е-mail: ⁴bubunets@rgau-msha.ru

Аннотация. Цель – получение дополнительных данных о спектре питания австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* при выращивании в прудах. Впервые получены данные о его питании в водоёмах средней полосы России. Проведенные исследования показали, что красноклешневый рак является политрофным всеядным видом и наравне с пищевыми компонентами растительного происхождения активно использует в пищу моллюсков, насекомых и их личинки. Всего в желудках раков было обнаружено более 35 видов беспозвоночных, что указывает на активный поиск и широкие возможности захвата раком пищевых объектов животного происхождения.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, *Cherax quadricarinatus*, питание,
пищевой спектр, трофические характеристики

В последние годы все больший интерес в Российской Федерации уделяется поиску новых объектов для аквакультуры. Одним из таких видов является австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868), который для южных регионов России рассматривается в качестве перспективного объекта выращивания [1-5]. Ряд биологических и коммерческих особенностей делают его привлекательным видом для аквакультуры в прудах [6, 7]. В первую очередь из-за интереса к нему, как объекту аквакультуры, австралийский красноклешневый рак на сегодняшний день отмечен в 67 странах/территориях, а его устойчивые популяции обнаружены в естественных водоемах 22 стран [8]. Есть сведения о его появлении в нескольких водоемах Южной и Центральной Европы [9, 10]. Будучи исходно обитателем тропического региона, австралийский красноклешневый рак хорошо чувствует себя при высоких температурах, но не приспособлен к выживанию в течение длительного периода времени при низких температурах, и перезимовать в условиях естественных водоемов даже в южных регионах России он не способен [11]. Поэтому технология его выращивания в условиях России включает в себя этап содержания маточного стада и получения молоди в УЗВ, а в пруды в начале лета выпускают уже подрошенную молодь.

Чаще всего австралийского красноклешневого рака считают эврифагом, питающимся преимущественно детритом, а также макрофитами и макробеспозвоночными [8, 12, 13]. Большая часть имеющейся литературы посвящена кормам для австралийского рака в аквакультуре, а исследования

его питания в естественных водоемах немногочисленны. Имеются данные о питании австралийского красноклешневого рака в прудах в Австралии [16] и после его вселения в некоторые водоемы Африки [14, 15]. Однако эти исследования не позволяют в полной мере оценить избирательность питания вида, поскольку в них отсутствуют данные о видовом составе сообществ исследуемых водоемов. Ранее нами были выполнены исследования содержимого желудков раков из прудов Астраханской области [17]. В их пищевом спектре большую часть составляли растительные остатки и детрит, а среди бентосных видов в желудках раков преобладали личинки стрекоз, хирономид и жуков. Полученные данные были сопоставлены с результатами исследований бентоса и планктона этих водоемов. Вместе с тем, объем выполненных работ все еще не позволяет сделать полноценный анализ пищевых предпочтений данного вида и оценить его потенциальное влияние на биоценозы водоемов. В связи с этим целью данного исследования стало получение дополнительных данных о спектре питания австралийского красноклешневого рака в условиях прудов, при расширении географии исследований на водоемы в средней полосе России.

Материал и методика

Исследования выполнены в 2024 году. Молодь австралийского красноклешневого рака, полученная в аквариальных условиях, была выпущена в два пруда Осетринского рыбного хозяйства, площадью 0,1 га каждый. Хозяйство располагалось в Волоколамском муниципальном округе Московской области (55.920777 с.ш., 36.046412 в.д.). Пруды имели глубину 1,3–2,0 м и удлиненную форму с соотношением длины к ширине 4:1 (рис. 1). Вода подавалась из общего водоподающего канала через рыбосороуловитель (для исключения попадания сорной рыбы).



Рис. 1. Внешний вид прудов в середине июля: А – пруд №2 и Б – пруд №1

Выпуск подрошенной молоди раков провели 13 июня. В пруд № 1 выпущено 105 экз. молоди средней массой 1-2 г, а в пруд № 2 – 94 экз. молоди средней массой 1,5-2 г. В процессе эксперимента дополнительные корма в пруды не вносили, а рост раков обеспечивался за счет использования ими естественной кормовой базы водоемов.

Вылов раков провели 27 августа. Для этого из прудов была спущена вода. Температура воды составляла на глубине – 19,8°C, а у поверхности – 20,6°C. Раков из пруда № 1 отловили в период с 10 до 13 часов дня, а из пруда № 2 – с 14 до 18 часов дня. На исследование содержимого желудков отбирали первых отловленных после спуска воды раков: из первого пруда 26 экз., а из второго – 20 экз. Их упаковывали индивидуально и помещали в морозильную камеру при температуре -20°C.

Исследование содержимого желудков проводили в лаборатории отдела аквакультуры беспозвоночных ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» в Москве. После разморозки, определения пола и массы рака, из его головогрудного отдела извлекали желудок и переносили в чашку Петри, после чего вскрывали и сразу же анализировали его содержимое. У всех исследованных особей содержимое желудка было равномерно и сильно измельчено. В основном можно было идентифицировать только отдельные

части съеденных пищевых объектов. Под «пищевыми объектами» мы подразумеваем те, которые предположительно используются раком в качестве пищи, в отличие от «пищевых компонентов», включающих все встреченные в желудках остатки. Для оценки наполненности желудка его содержимое концентрировали в чашке Петри в виде пятна слоем стандартной толщины, после чего фотографировали фотоаппаратом Sigma DP3m, установленным на штативе. В программе Photoshop CS6 определяли площадь кадра, занимаемого пищевыми компонентами. Полученное значение делили на массу особи. При вычислении наполнение желудка за 100 % было принято максимальное полученное значение площади, занимаемой пищевыми компонентами, на единицу массы рака. Наполнение желудков остальных особей определялось в процентах от этого значения (от 0 до 100 %). Изучение состава содержимого желудков проводили под стереомикроскопом Nikon SMZ18. По возможности определяли систематическую принадлежность съеденных раком пищевых объектов. При идентификации мелких фрагментов использовали микроскоп Nikon E200. Затем определяли долю каждого компонента.

Помимо содержимого желудка у раков обращали внимание на наличие гастролитов. Перед линькой у речных раков происходит депонирование кальция, который выводится из кутикулы в виде формирующихся на внутренней части стенки желудка гастролитов. Гастролиты, если особь готовится к линьке, могут находиться на стенке желудка. После линьки гастролиты оказываются внутри желудка, где постепенно растворяются. Таким образом, размер гастролитов указывает на близость линьки в обоих случаях и чем они крупнее, тем ближе линька. При осмотре желудков отмечали место локализации гастролитов и измеряли их массу.

Для изучения кормовой базы перед спуском прудов на трех станциях (у водоподающей трубы, в средней части пруда и у «монаха»), отобрали пробы зоопланктона и макрообентоса. Для отбора проб макрообентоса использовали скребок с площадью захвата 0,04 м². Пробы отбирали на глубине 1-1,5 м, затем отмывали от ила через сито с размерами ячей 0,25 мм. При взятии проб зоопланктона через сеть Апштейна (размер ячей 50 мкм) процеживали 50 л воды. Идентификацию беспозвоночных проводили по Определителям зоопланктона и зообентоса... [18, 19] и Определителям пресноводных беспозвоночных... [20-21].

Расчет достоверности различий выборок выполнен в программе Statistica 12.0 с использованием Т-критерия Стьюдента. Статистически значимыми различия считались при значении *p* менее 0,05.

Результаты и обсуждение

В пробах планктона, отобранных непосредственно перед выловом раков, выявлены 14 таксонов ракообразных. Основная численность и биомасса приходилась на представителей Cladocera и Сорерода (табл. 1). Наиболее массовыми (численность превышала 10 тыс. экз./м³) были *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Ceriodaphnia* sp. Dana, 1853, *Chydoridae* gen. sp., *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776), *Daphnia galeata* G. O. Sars, 1864, *Thermocyclops crassus* (Fischer, 1853). Суммарная биомасса планктонных организмов в прудах № 1 и 2 составила 2,3 и 3,2 г/м³ соответственно.

Таблица 1

Планктонные ракообразные в прудах (численность и биомасса)

Таксон	Пруды			
	1		2	
	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³
Подкласс Сорерода	17,7	0,3	113,7	2,3
Надотряд Cladocera	62,1	1,9	34,6	0,5
Класс Остракоды	2,4	0,1	12,4	0,4
Всего	82,2	2,3	160,7	3,2

В пробах бентоса отмечены 40 таксонов беспозвоночных. Суммарная биомасса макробентоса в пруду № 1 составила 20,3 г/м², а в пруду № 2 – 78,2 г/м² (табл. 2). Наиболее массовыми группами были личинки хирономид (*Glyptotendipes glaucus* (Meigen, 1818), *Glyptotendipes paripes* (Edwards, 1929), *Chironomus* sp. Meigen, 1803 и др.), олигохеты *Limnodrilus hoffmeisteri* Claparède, 1862 и моллюски (*Bithynia tentaculata* (Linnaeus, 1758), *Bathyomphalus* sp. Charpentier, 1837 и *Gyraulus* sp. Charpentier, 1837).

Таблица 2

Макробентос в прудах (численность и биомасса)

Таксон	Пруды			
	1		2	
	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Численность, экз./м ²	Биомасса, г/м ²
Тип Annelida, Класс Oligochaeta	275,0	0,2	25208,3	34,7
Подкласс Hirudinea	8,3	0,0	8,3	0,4
Тип Mollusca, Класс Gastropoda	83,3	0,5	900,0	41,9
Тип Arthropoda, Класс Insecta				
Отряд Ephemeroptera	0,0	0,0	8,3	0,1
Отряд Odonata	33,3	1,3	58,3	0,5
Отряд Trichoptera	8,3	0,2	0,0	0,0
Отряд Coleoptera	8,3	0,0	8,3	0,1
Отряд Hemiptera	125,0	1,9	16,7	0,1
Отряд Diptera, кроме Chironomidae	300,0	0,9	66,7	0,0
Отряд Diptera, сем. Chironomidae	4425,0	15,4	116,7	0,5
Всего	5266,7	20,3	26466,7	78,2

Средняя масса раков из прудов № 1 и № 2 составила $20,0 \pm 11,0$ и $29,2 \pm 10,0$ г соответственно. Наблюдаемые отличия в размерах раков были статистически значимы ($p < 0,005$) и, по-видимому, связаны с различиями в размерах раков на старте эксперимента. Таким образом масса особей за время эксперимента в среднем увеличилась в 15 раз. Это сравнимо с ростом раков в прудах более южных регионов. Высокие показатели роста могли быть обусловлены аномально жарким летом в 2024 г. Доля пойманых раков от посаженных в пруды составила 63 и 67 % соответственно, но, возможно, из-за большого количества растительности в прудах при сборе раков обнаружены были не все особи.

У 93,5 % отловленных раков в желудках были обнаружены пищевые компоненты. При этом рассчитанный процент наполненности желудков у раков был невысоким. Наполнение желудков раков из пруда № 1 в среднем составило $16,6 \pm 21,6$ %, а в пруду № 2 – $14,6 \pm 9,1$ %. Различия в наполненности желудков у раков могут быть обусловлены тем, что отлов раков из пруда № 2 проводили во второй половине дня, а для речных раков характерно снижение интенсивности питания в дневное время [17, 23]. Однако наблюдаемые отличия не были статистически значимы ($p=0,7$). Кроме того, отмечено снижение интенсивности питания у раков в период линьки, такие особи имели крупные гастролиты на стенке желудка или внутри него (рис. 1). Гастролиты в той или иной степени развития обнаружены у 72 % исследованных особей. Это свидетельствует об активном росте и регулярных линьках раков в прудах.

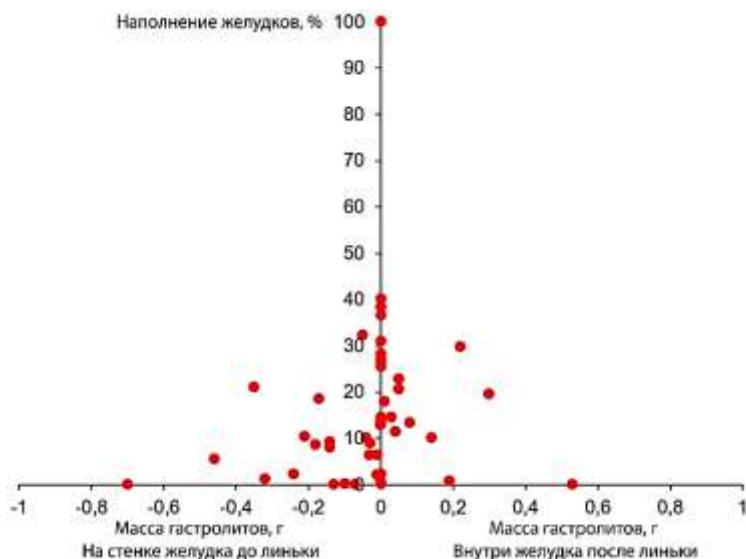


Рис. 2. Наполнение желудков раков из прудов, в зависимости от массы и положения гастролитов

При дальнейшем анализе доли пищевых компонентов в пищевом комке использовались только данные особей с наполнением желудков более 1 %. В подавляющем большинстве у раков с расчетным наполнением желудков более 1 % разнообразие пищевых объектов указывало на активное потребление ими пищи.

В содержимом желудков раков отмечены пять основных групп пищевых компонентов: высшие растения (зеленые части растений, семена), растительный детрит (отмершие части растений), хитин животного происхождения (части планктонных ракообразных, водных и наземных насекомых, статобласти мшанок), моллюски (осколки раковин и куски мяса) и части экзувиев рака (табл. 3).

Таблица 3

**Состав пищи австралийского красноклешневого рака в прудах
(без учета желудков с наполнением менее 1 %)**

Пищевые компоненты	Частота встречаемости (%)		Доля в пищевом комке, %	
	Пруд 1	Пруд 2	Пруд 1	Пруд 2
Растительного происхождения	100,0	94,4	55,4±29,8	55,8±33,3
Фрагменты высших растений	95,2	94,4	28,6±24,5	32,4±31,7
Растительный детрит	71,4	77,8	26,8±29,2	26,3±29,3
Животного происхождения	100,0	94,4	44,8±29,7	44,1±33,4
Хитин	100,0	94,4	25,8±19,1	16,0±19,7
Моллюски	61,9	77,8	11,7±14,2	23,1±24,1
Экзувию	23,8	5,6	7,4±17,9	5,0±21,2
Исследовано желудков	21	18	21	18

Пищевые компоненты как растительного, так и животного происхождения отмечены практически во всех исследованных желудках. Доля, занимаемая растительными компонентами в пищевом комке, оказалась несколько выше и в среднем составила 55 %. Соотношение доли растительных и животных компонентов у раков из обоих прудов была практически одинаковой. При этом у отдельных особей соотношение этих компонентов часто значительно отличалось. Зеленые части растений отмечены в большем количестве желудков, чем растительный детрит, но их доля в желудках незначительно превышала долю детрита. Компоненты животного происхождения были преимущественно представлены хитиновыми частями насекомых и ракообразных, а также осколками раковин и кусками мягких тканей моллюсков. Практически во всех желудках отмечены хитиновые части животных (97,4 % желудков). Части моллюсков также отмечены в большом количестве желудков (69,2 %), особенно в пруду № 2, где они были более многочисленны в бентосе (табл. 2). Полученные данные показали, что речные раки потребляют в пищу экзувию перелинявших особей, остатки которых обнаружены в желудках у 15,3 % исследованных особей. Интересно, что экзувию отсутствовали в желудках раков, гастролиты которых располагались на стенках желудка, что означает подготовку к линьке. При этом такие особи продолжали питаться (рис. 2).

Среди фрагментов высших растений обычно можно было идентифицировать зеленые части ряски и роголистника. Компоненты животного происхождения чаще всего были представлены хитиновыми частями насекомых и ракообразных, а также мясом и раковинами моллюсков. В общей сложности в желудках раков обнаружены остатки более 35 видов беспозвоночных. В таблице 4 приведены данные по частоте встречаемости основных групп беспозвоночных.

**Частота встречаемости (%) групп беспозвоночных
в пищевом комке австралийского красноклешневого рака в прудах**

	Пруд 1	Пруд 2
Водные животные		
Тип Bryozoa	42,9	50
Тип Arthropoda		
Надотряд Cladocera	66,7	50,0
Подкласс Copepoda	—	11,1
Класс Ostracoda	9,5	—
Класс Acari	—	5,5
Класс Insecta		
Отряд Ephemeroptera	52,4	22,2
Отряд Odonata	52,4	—
Отряд Diptera, сем. Chironomidae	66,7	38,9
Отряд Diptera, кроме Chironomidae	28,6	44,4
Отряд Hemiptera	28,6	16,6
Отряд Coleoptera	9,5	16,7
Наземные животные		
Отряд Hymenoptera, сем. Formicidae	42,9	16,7
Отряд Hymenoptera, кроме Formicidae	—	11,1
Исследовано желудков	21	18

Из представителей макробентоса чаще других раки поедали моллюсков (*Bithynia tentaculata* (Linnaeus, 1758), *Cinctina* sp. Hübner, 1810, *Gyraulus* sp. Charpentier, 1837, *Planorbis* sp. O. F. Müller, 1774, *Lymnaea* sp. (Lamarck, 1799)), личинок двукрылых сем. Chironomidae (чаще всего родов *Glyptotendipes* и *Chironomus*) и сем. Chaoboridae (*Chaoborus crystallinus* (De Geer, 1776)), статобласты мшанок, личинок поденок (*Cloeon* gr. *dipterum*), водных клопов сем. Corixidae (*Sigara striata* (Linnaeus, 1758)), личинок стрекоз, а также имаго и личинок жуков.

Помимо водных насекомых в желудках раков регулярно (30 % желудков) отмечались части муравьев нескольких видов. При этом часто это были несколько съеденных экземпляров.

Планктонные ракообразные в желудках раков так же встречались регулярно (59 % желудков) и в большинстве были представлены наиболее массовыми в планктоне видами надотряда Cladocera. В желудках отмечены как части самих ракообразных, так и их эфиппии. Однако следует отметить, что высокая частота встречаемости их в желудках могла быть обусловлена тем, что они оказались более доступны для раков при снижении уровня воды в прудах во время облова.

Сравнение результатов анализа видового состава макрообентоса и встречаемости макробеспозвоночных в желудках раков показало, что в большинстве случаев наиболее часто отмеченные в желудках раков виды также доминировали в бентосе водоемов.

Имеющиеся на сегодня данные о пищевых предпочтениях речных раков указывают на то, что им свойственна эврифагия и высокая пищевая пластичность, проявляющаяся в освоении новых пищевых объектов при сезонных или иных изменениях условий существования и в использовании разной пищи в разных водоёмах [16, 24-29]. Результаты проведенного нами исследования спектра питания австралийского красноклешневого рака в прудах продемонстрировали, что пища животного происхождения (44,0 %) наравне с частями растений (31,1 %) и растительным детритом (28,7 %) является ключевым компонентом их рациона. Учитывая, что для потребления макробентоса необходим целенаправленный его поиск, это свидетельствует о том, что животная пища является важным и предпочтительным компонентом рациона исследованных раков. Доля животной пищи и особенно моллюсков в желудках австралийских красноклешневых раков в данном исследовании оказалась значительно выше, чем в проведенных нами ранее аналогичных работах в прудах Астраханской области, когда доля животной пищи в желудках раков в среднем составила только 10-15 % [17]. Наблюдаемые различия могли быть обусловлены меньшей плотностью посадки раков в прудах Московской области и, следовательно, меньшей конкуренцией за более ценный пищевой ресурс. Это подтверждает высказанное нами ранее мнение, что животная пища важна для австралийского красноклешневого рака и необходима для обеспечения высокой скорости роста. Полученные нами результаты согласуются

с выводами опубликованных ранее исследований, в которых австралийского красноклешневого рака рассматривают в качестве политрофного факультативно всеядного вида [12, 14-16, 29].

Заключение

Исследования питания австралийских красноклешневых раков в условиях прудов Московской области показали, что наравне с пищевыми компонентами растительного происхождения компоненты животного происхождения (насекомые, их личинки и моллюски) являлись важной частью рациона раков и, по-видимому, основным источником белка для них. Всего в желудках обнаружено более 35 видов беспозвоночных, что указывает на активный поиск раком и широкие возможности захвата им пищевых объектов животного происхождения. В связи с этим также интересным является факт регулярного использования раками в пищу наземных насекомых. Все это позволяет рассматривать австралийского красноклешневого рака в качестве политрофного факультативно всеядного вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорошко, А. В., Крючков, В. Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2010. – № 2. – С. 51–54.
2. Выращивание австралийского красноклешневого рака в циркуляционной установке / А. В. Жигин, Р. Р. Борисов, Н. П. Ковачева и др. // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 1. – С. 61–65.
3. Шокашева, Д. И. Специфика многолетней доместикации австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в условиях западной части Российской Федерации // Известия ТИНРО. – 2018. – Т. 194. – С. 188–192.
4. Аквакультура австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) / Р. Р. Борисов, Н. П. Ковачева, А. В. Жигин и др. – Москва : Издательство ФГБНУ «ВНИРО», 2024. – 200 с.
5. Материалы к технологии прудового выращивания австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) / Д. В. Рудой, А. В. Ольшевская, В. Н. Шевченко и др. // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2025. – Т. 15. – № 1. – С. 48–59.
6. Lawrence, C., Jones, C. *Cherax* // Biology of Freshwater Crayfish / D. M. Holdich (ed). Blackwell Scientific Press, Oxford. – 2002. – Pp. 635–669.
7. Saoud, I., Ghanawi, J. A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) // Journal of the World Aquaculture Society. – 2013. – Vol. 44. – №1. – Pp. 1–29.
8. The redclaw crayfish: A prominent aquaculture species with invasive potential in tropical and subtropical biodiversity hotspots / P. Haubrock, F. Oficialdegui, Z. Yiwen et al. // Reviews in Aquaculture. – 2021. – Vol. 13. – Pp. 1488–1530.
9. Jaklič, M., Vrezec, A. The first tropical alien crayfish species in European Waters: the redclaw *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) // Crustaceana. – 2011. – Vol. 84. – Pp. 651–665.
10. Arias, A., Torralba-Burrial, A. First record of the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) on the Iberian Peninsula // Limnetica. – 2021. – Vol. 40. – Pp. 33–42.
11. Биологические аспекты культивирования австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) в России / Р. Р. Борисов, Н. П. Ковачева, А. В. Жигин и др. // Рыбное хозяйство. – 2024. – № 3. – С. 80–92.
12. Jones, C. M. The Biology and aquaculture potential of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries. – 1990. – Information Series QI90028.
13. Хофтэттер, К. В. Креветки и раки в аквариуме. – Москва : Аква-Принт, 2008.– 120 с.

14. The diet of an invasive crayfish, *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868), in Lake Kariba, inferred using stomach content and stable isotope analyses / L. T. Marufu, T. Dalu, P. Crispen et al. // BioInvasions Records. – 2018. – Vol. 7. – № 2. – Pp. 121–132.
15. Trophic niche of an invasive generalist consumer: Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, in the Inkomati River Basin, South Africa / T. A. Zengeya, R. J.-H. Lombard, V.E. Nelwamondo et al. // Austral Ecology. – 2022. – Vol. 47. – № 7. – Pp. 1480–1494.
16. Joyce, M., Pirozzi, I. Using stable isotope analysis to determine the contribution of naturally occurring pond biota and supplementary feed to the diet of farmed Australian freshwater crayfish, redclaw (*Cherax quadricarinatus*) // International Aquatic Research. – 2016. – Vol. 8. – № 1. – Pp. 1–13.
17. Пищевой спектр австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) (Decapoda, Parastacidae) в прудах Астраханской области / Л. В. Воробьева, Р. Р. Борисов, Н. П. Ковачева, О. В. Пятикопова // Российский журнал Биологических Инвазий. – 2024. – № 1. – С. 8–22.
18. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. – Т. 1: Зоопланктон. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 495 с.
19. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. – Т. 2: Зообентос. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2016. – 457 с.
20. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. – Т. 3: Паукообразные и низшие насекомые. – Санкт-Петербург : Наука, 1997. – 439 с.
21. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. – Т. 4: Высшие насекомые. Двукрылые. – Санкт-Петербург : Наука, 1999. – 998 с.
22. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. – Т. 5: Высшие насекомые (ручейники, чешуекрылые, жесткокрылые, сетчатокрылые, большекрылые, перепончатокрылые). – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 836 с.
23. Черкашина, Н. Я. Динамика популяций раков родов *Pontastacus* и *Castiastacus* (Crustacea, Decapoda, Astacidae) и пути их увеличения. – Москва : ФГУП «Нацрыбресурс», 2002. – 257 с.
24. Бродский, С. Я. Річкові раки // Fauna України. – Т. 26. – Вип. 3. – Київ : Наукова думка, 1981. – 210 с.
25. Momot, W. T. Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems // Reviews in Fisheries Science. – 1995. – Vol. 3. – № 1. – Pp. 33–63.
26. Ackefors, H. The culture and capture crayfish fisheries in Europe // World Aquaculture. – 1998. – Vol. 29. – № 2. – Pp. 18–24.
27. Correia, A. M. Niche breadth and trophic diversity: feeding behaviour of the red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) towards environmental availability of aquatic macroinvertebrates in a rice field (Portugal) // Acta Oecologica. – 2002. – Vol. 23. – № 6. – Pp. 421–429.
28. Nyström, C., Bronmark, W., Graneli, P. Patterns in benthic food webs - a role for omnivorous crayfish // Freshwater Biology. – 1996. – Vol. 36. – № 3. – Pp. 631–646.
29. Saoud, I., Garza de Yta, A., Ghanawi, J. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) // Aquacult. Nutr. – 2012. – Vol. 18. – Pp. 349–368.

DIET OF AUSTRALIAN RED CLAW CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS* IN PONDS OF MOSCOW REGION

¹Zelenenko Vladislav Vital'evich, Specialist of the Invertebrate Aquaculture Department

²Borisov Rostislav Ruslanovich, Doctor of Biological Sciences,

Leading Researcher of the Invertebrate Aquaculture Department

³Vorobjeva Lada Vladislavovna, Senior Specialist of the Invertebrate Aquaculture Department

⁴Bubunec Eduard Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences;

Acting Head of the Department of Aquaculture and Beekeeping

^{4;5}Zhigin Aleksey Vasil'evich, Doctor of Agricultural Sciences;

Leading Researcher of the Invertebrate Aquaculture Department; Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping

^{1,2,3,5}Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia,

e-mail: ¹zelenenko@vniro.ru; ²borisovrr@vniro.ru;

³ vorobjeva.lada@yandex.ru; ⁵crustacealab@vniro.ru

⁴Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,

Moscow, Russia, e-mail: ⁴bubunets@rgau-msha.ru

Abstract. The aim of the study was to accumulate data on the spectrum of nutrition of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* when grown in ponds. For the first time, data on its nutrition in waterbodies of central Russia were obtained. The studies showed that the red claw crayfish is a polytrophic omnivorous species and, along with food components of plant origin, actively uses mollusks, insects and their larvae as food. In total, more than 35 species of invertebrates were found in the stomachs of crayfish, which indicates an active search and wide possibilities for the capture of food objects of animal origin by the crayfish.

Keywords: Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, nutrition, food spectrum, trophic characteristics

УДК 597.555.5.574.52(265.54);
ГРНТИ 34.35

ДИНАМИКА ВОСПРОИЗВОДСТВА НАВАГИ В АМУРСКОМ ЗАЛИВЕ ЯПОНСКОГО МОРЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ЧИСЛЕННОСТИ И ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Зуенко Юрий Иванович, д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ ГНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Тихоокеанский филиал (ТИНРО)
Владивосток, Россия, e-mail: zuenko_yury@hotmail.com

Аннотация. С целью определения перспектив промысла наваги Амурского залива, популяция которой пребывает в депрессии после климатического сдвига конца 1980-х гг., по данным траловых съёмок и наблюдений на промысле рассмотрена динамика запаса и особенности его воспроизводства в 1991–2019 гг. Установлено, что ресурсы биотопа позволяют содержать популяцию наваги высокой численности, она вполне успешно воспроизводится, но расширенному воспроизводству препятствует высокая смертность урожайных поколений. Это ограничение связывается со сдвигом сроков нереста с января на декабрь из-за потепления климата, причём молодые и наиболее многочисленные производители нерестятся особенно рано. Ранний нерест может быть неблагоприятен для выживаемости личинок наваги из-за несовпадения сроков их выклева с периодом массового развития планктона в апреле.

Ключевые слова: навага, потепление климата, сроки нереста, придонная температура, численность пополнения, эффективность воспроизводства, Амурский залив, залив Петра Великого

Введение

Навага *Eleginus gracilis* (Tilesius, 1810) – один из наиболее массовых видов рыб семейства тресковых (Gadidae) в прибрежных водах Приморья. Навага нерестится зимой, образуя плотные нерестовые скопления под припайным льдом, что даёт возможность организации промышленного лова пассивными орудиями, а также массового любительского подлёдного лова. Основное нерестилище наваги, обитающей в заливе Петра Великого Японского моря, находится в Амурском заливе (рис. 1). Вся северная часть залива зимой покрывается припаем толщиной до 1 м, с декабря по март позволяющем рыбакам использовать автомашины и тракторы для вывоза и установки основного орудия лова – вентерей (кольцевых ставных сетей длиной несколько метров, устанавливаемых со льда на глубинах от 2–3 до 17–19 м). Крупномасштабный лов наваги со льда развился в конце XIX века, вскоре после основания на берегах Амурского залива г. Владивостока. В дореволюционный период государственный контроль промысла осуществлялся через ежегодную распродажу промысловых участков льда (лоты торговались даже на Петербургской товарной бирже), а в советское время через плановые обязательства добывающих предприятий (в основном рыболовецких артелей и колхозов), которые с 1960-х гг. были ограничены научно-обоснованными квотами. После введения ограничений годовой вылов снизился из-за резкого сокращения промыслового усилия: от нескольких сотен вентерей, выставлявшихся в заливе в 1930–1950-е гг., до 60–100 вентерей в 1960–1980-е гг. (рис. 2). Тем не менее, до 1990 г. промысел наваги вёлся вполне устойчиво, о чём можно судить по сохранению высоких уловов на единицу пром. усилия (рис. 3). Это свидетельствовало о благополучном состоянии местной популяции наваги. Однако после сдвига климатического режима в сторону потепления, случившегося в Японском море в 1988–1989 гг. [1], воспроизводство наваги ухудшилось – даже большое количество производителей, подходивших

на нерест в первые годы после сдвига, не давало пополнения, достаточного для сохранения численности популяции. По-видимому, ухудшение воспроизводства было вызвано общей перестройкой экосистемы северной части Японского моря, сопровождавшейся снижением продуктивности и ростом видового разнообразия, что тогда сказалось на многих видах, в частности, на наиболее массовых – сардине-иваси и минтае. Для наваги эта ситуация усугубилась ещё и сдвигом срока начала массового нереста с января на конец декабря, что могло привести к несовпадению сроков выклева личинок с периодом весеннего развития планктона, наблюдающимся обычно в апреле [2]. С тех пор популяция наваги зал. Петра Великого пребывает в депрессии, несмотря на формирование в отдельные годы относительно урожайных поколений. В этих условиях стабильный, рентабельный подледный промысел наваги стал невозможен. Хотя попытки освоения этого ресурса продолжаются и даже наблюдается рост пром. усилия, уловы наваги чрезвычайно низки и зачастую за путину не превышают 1 тонны на вентерь. Выделяемые добывчикам квоты на вылов из года в год не осваиваются. Столь удручающее положение дел послужило причиной к пристальному рассмотрению особенностей динамики воспроизводства наваги в зал. Петра Великого и влияющих на неё факторов с целью определения перспектив данного вида промысла.

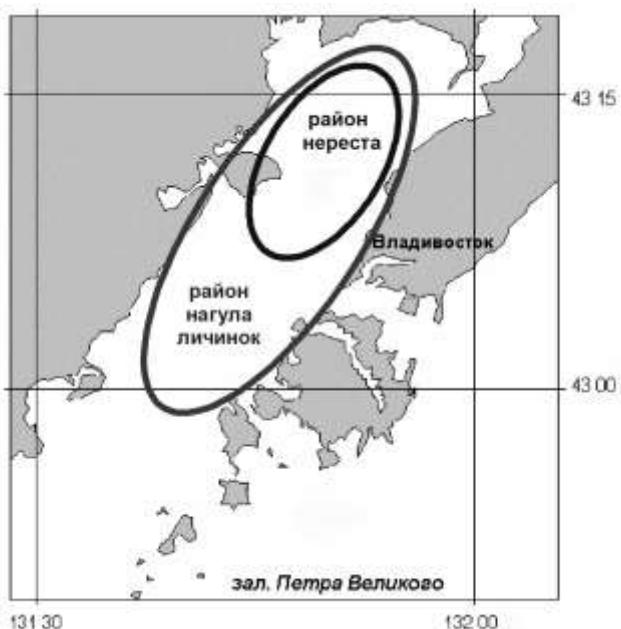
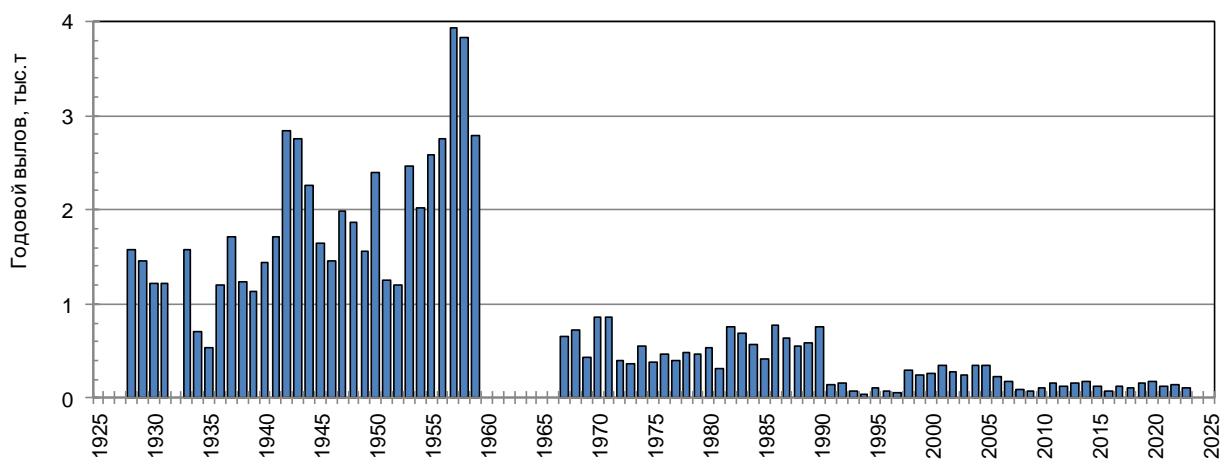


Рис. 1. Схема расположения основного района нереста наваги в Амурском заливе



*Рис. 2. Вековая динамика годового промышленного вылова наваги в Амурском заливе
(нет данных за 1932, 1960–1966 гг.)*

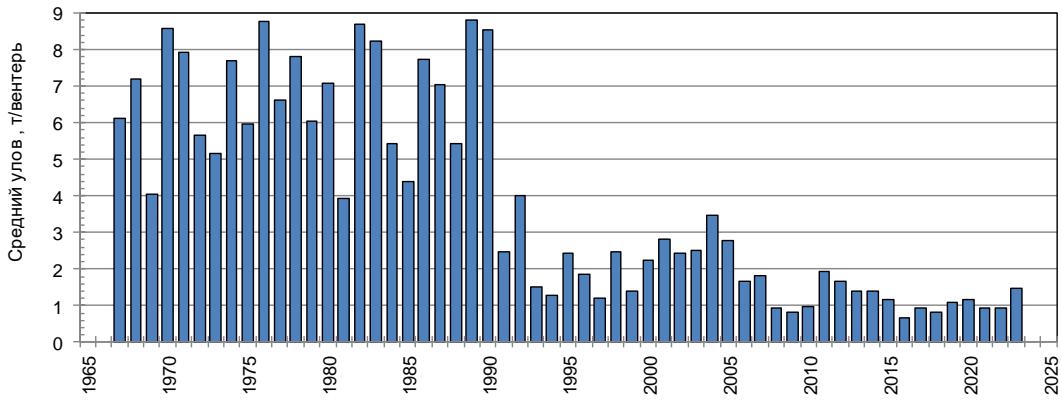


Рис. 3. Динамика средних за путину промысловых уловов наваги на единицу усилия в Амурском заливе

Материалы и методы

В работе использованы данные учётных донных траловых съёмок залива Петра Великого за 1991–2019 гг., а также биологического анализа промысловых уловов нерестовой наваги и промысловой статистики (годовой вылов нерестовой наваги и число выставленных вентерей на промысловых участках Амурского залива) за 1991–2023 гг. Учётные съёмы и биоанализ уловов выполнены силами ТИНРО, а данные пром.статистики предоставлены Приморским филиалом Главного бассейнового управления по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов.

Донные траловые съёмы выполнялись в летний сезон, когда навага нагуливается на обширной акватории зал. Петра Великого. Биомасса каждого вида в уловах пересчитана в концентрации на 1 км² с учётом продолжительности и скорости траления и раскрытия трала, принимая коэффициент уловистости трала равным 1, далее стандартным площадным методом [3] определена биомасса видов на всей акватории залива с учётом его батиметрии.

Промысловое усилие определяли как вылов за путину на один вентерь, т.е. отношение суммарного вылова наваги вентерями за весь промысловый сезон к числу вентерей на промысле. Состояние запаса характеризовали такими показателями, как численность и биомасса производителей (рыб в возрасте 2 года и больше) и численность пополнения. Поскольку сегодняшние наваги плохо облавливаются как тралами, так и вентерями, в качестве количественного показателя ежегодного пополнения принят индекс численности поколений, равный численности двухлеток (наиболее многочисленная возрастная группа в уловах), отнесённый к году их выклева. Возраст наваги в уловах определяли по данным массовых промеров, используя размерно-возрастной ключ. Для определения эффективности воспроизводства численность пополнения i -того года (численность двухлеток в году $i+2$) сравнивали с биомассой производителей в i -том году, полагая, что для расширенного воспроизводства этот показатель должен превышать уровень 5–6 экз. двухлеток весом по 150–200 г от 1 кг производителей.

Особенности воспроизводства наваги в условиях низкой численности анализировали путём выявления зависимости эффективности воспроизводства от сроков массового нереста и условий среды обитания и сравнения межгодовой динамики нерестового запаса и пополнения с использованием функции Рикера «запас-пополнение» [4]:

$$N = RPS \cdot S \exp(1 - \alpha S), \quad (1)$$

где N – численность пополнения;

S – нерестовый запас;

RPS (recruits per stock) – параметр эффективности воспроизводства;

α – эмпирический коэффициент, определяющий экологическую ёмкость, равную $1/\alpha$.

Данные о сроках массового нереста наваги в Амурском заливе заимствованы из предыдущей работы автора с Л.А. Черноивановой [2], где представлена межгодовая динамика сроков, выявлена тенденция к их смещению на более ранние даты и отмечена их зависимость от термических условий в придонном слое залива Петра Великого в летне-осенний период, когда происходит нагул и половое созревание рыб.

Результаты наблюдений

Судя по результатам ежегодных траловых съёмок, биомасса наваги в зал. Петра Великого в последние три десятилетия, оставаясь низкой относительно прошлых лет, всё же показала некоторый рост во второй половине 2000-х гг., но после максимума в 2012 г. постепенно вновь снизилась до минимального уровня (рис. 4). Подобная динамика в общих чертах характерна и для нерестового запаса и пополнения (рис. 5). В большинстве случаев пополнение соответствовало запасу, негативного влияния «фактора плотности» не наблюдалось, что по-видимому естественно в условиях низкой численности популяции. Кривая Рикера для рассматриваемого периода представлена лишь левой своей частью, оптимальный уровень нерестового запаса (в терминах функции Рикера carrying capacity или «экологическая ёмкость») оценивается в $1/\alpha = 62$ тыс.т – после 1990 г. такой уровень запаса не был достигнут ни разу (рис. 6). Однако при внимательном рассмотрении межгодовых изменений пополнения можно видеть, что относительно многочисленное поколение наваги 2004 г. сформировалось в условиях низкого нерестового запаса, что обеспечило рост численности популяции после 2005 г., а характерная для последних лет тенденция к снижению биомассы началась после провального нереста 2011 г., когда при максимальной численности производителей появилось весьма низкоурожайное поколение. Впрочем, и в некоторые годы периода относительно высокого нерестового запаса (2005-2014 гг.) воспроизводство наваги было вполне успешным, и в 2009 г. сформировалось наиболее урожайное за исследованный период поколение.

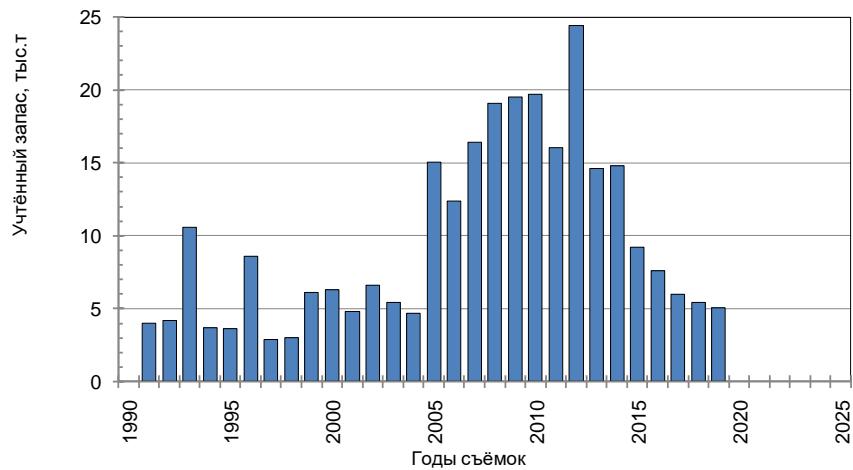


Рис. 4. Динамика биомассы наваги по данным донных траловых съёмок в зал. Петра Великого

При наблюдаемой в целом умеренно-положительной зависимости пополнения от нерестового запаса, обеспечивающей 42 % дисперсии ряда численности пополнения, половой зрелости достигало в среднем 6-7 экз. потомства от 1 кг производителей, что примерно соответствует сбалансированному воспроизводству. Расширенное воспроизводство наваги происходило лишь в отдельные годы, выбывающие из этого ряда, когда эффективность воспроизводства достигала 21 экз./кг (в 2004 г.). В годы неуспешного нереста этот показатель снижался до 3-4 экз./кг и менее, чего недостаточно даже для компенсации естественной убыли популяции, а тем более для устойчивого промысла (рис. 7). Вместе с тем отсутствие проявлений «фактора плотности» указывает на вполне благоприятное для обитания крупной популяции наваги состояние экосистемы зал. Петра Великого. Слабое воспроизводство вида в большинство лет последних трёх десятилетий, вплоть до провального нереста в отдельные годы, обусловлено не обострением внутривидовой или межвидовой конкуренции, как для популяции минтая залива Петра Великого, также впавшей в депрессию [5], а высокой смертностью молоди.

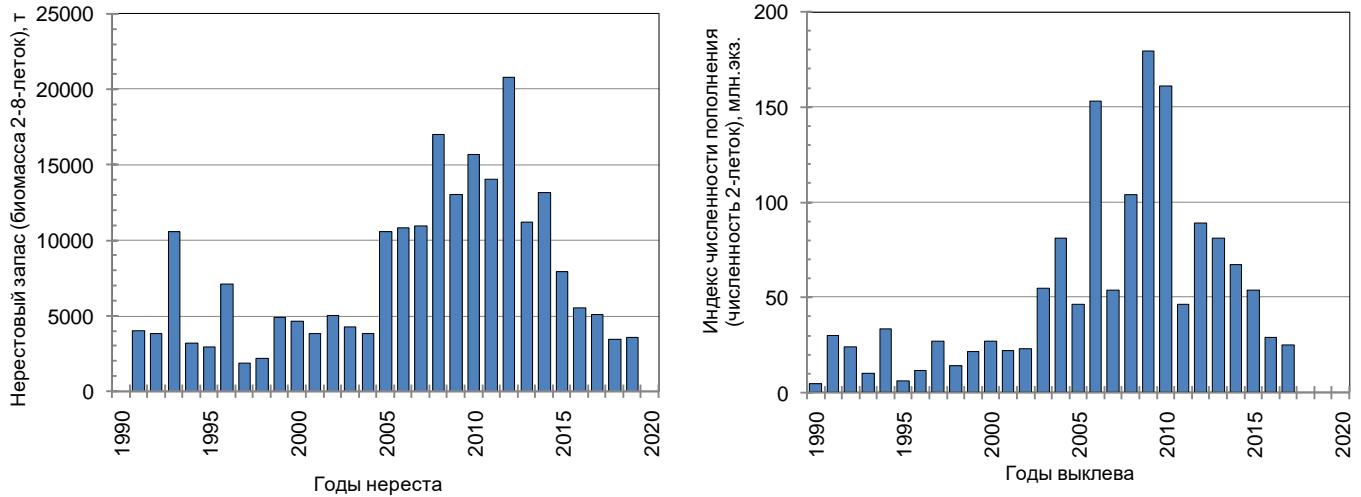


Рис. 5. Динамика нерестового запаса и индекса численности поколений наваги по данным донных траловых съёмок в зал. Петра Великого

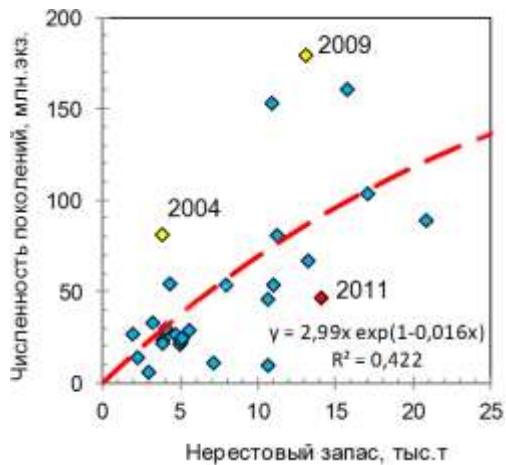


Рис. 6. Зависимость индекса численности поколений наваги, нерестящейся в Амурском заливе, от нерестового запаса и её аппроксимация кривой Рикера с $RPS = 2,99$; $\alpha = 0,018 \text{ тыс.т}^{-1}$.

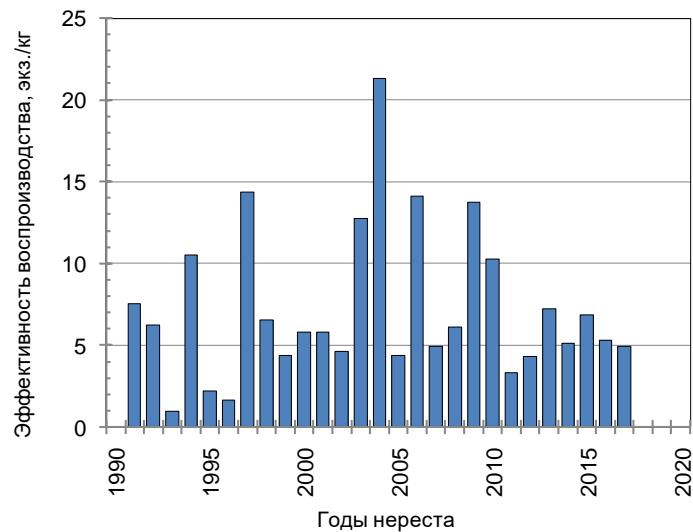


Рис. 7. Динамика эффективности воспроизводства наваги в Амурском заливе по соотношению численности двухлеток и нерестового запаса в годы их выклева

Анализ влияния изменений сроков нереста на эффективность воспроизводства

У рыб численность поколений определяется нерестовым запасом (обеспечивающим популяционную плодовитость) и выживаемостью потомства на ранних стадиях развития (до достижения возраста, для которого исчисляется индекс численности поколений). Для стадий икры и ещё более для стадий личинок рыб характерна чрезвычайно высокая смертность, на порядки превышающая смертность взрослых рыб, поэтому вариации этого параметра могут радикально изменить эффективность воспроизводства, и при чрезвычайно большом количестве выметанной икры может сформироваться очень слабое поколение, как и наоборот, примеры чего для наваги Амурского зал. приведены выше. Абсолютно для всех видов рыб смертность/выживаемость на наиболее опасных стадиях развития зависит от продолжительности этих стадий, а именно: чем дольше потомство находится на стадиях икры и личинок – тем больше его гибнет, просто в силу свойственной этим стадиям высокой смертности. Темпы онтогенеза при эндогенном питании определяются прежде всего температурой, при которой происходит развитие, и чем она выше – тем быстрее молодь проходит опасные стадии и следовательно лучше выживает. Однако для наваги, нерестящейся в очень стабильных термических условиях подо льдом, где температура всегда близка к точке замерзания морской воды, этот фактор по-видимому не имеет большого значения.

Для выживаемости молоди наваги, питающейся мелким планктоном, важен другой фактор – обеспеченность обильной и легкодоступной пищей в момент перехода личинок на экзогенное питание. Как зимненерестующий вид, навага ориентирована на использование пищевых ресурсов весенней вспышки массового развития зоопланктона, когда (обычно в апреле) после низкопродуктивного зимнего сезона в планктоне появляется многочисленная молодь его массовых видов. Однако эта вспышка обилия длится недолго, у некоторых видов буквально несколько дней, поэтому важно, чтобы фаза начала активного питания молоди рыб совпала по срокам с фазой весенней вспышки в годовом цикле сукцессии планктонного сообщества (концепция *match/mismatch*, т.е. «совпадения-несовпадения» Д. Кушинга [6]). Сроки перехода личинок на экзогенное питание естественно зависят от сроков их выклева и соответственно нереста. Ранее сроки массового нереста наваги в Амурском заливе определены по данным о внутрисезонной динамике зрелости икры самок в уловах подлёдного лова ([2], рис. 8). Современный период после климатического сдвига 1988–1989 гг., в условиях продолжающегося потепления, сопровождается тенденцией к сдвигу сроков начала и конца массового нереста наваги на более ранние даты, поскольку длительность годового цикла созревания половых продуктов (периода между окончанием массового нереста и началом следующего массового нереста) у наваги Амурского залива обратно пропорциональна средней за май-октябрь температуры воды у dna шельфа зал. Петра Великого [2]. К сожалению, нам не известны межгодовые вариации сроков весенней вспышки развития зоопланктона в этих водах, но можно ожидать, что переход к раннему, декабрьскому нересту, нетипичному для местной популяции наваги, может быть неблагоприятен для её воспроизводства, поскольку личинки могут выклонуться ещё до массового появления в планктоне их пищи.

При сравнении межгодовых колебания эффективности воспроизводства наваги с изменениями сроков её нереста, на первый взгляд, какой-либо закономерности не обнаруживается – случаи успешного и неуспешного нереста наблюдаются в самые разные сроки. Так, высокочисленное поколение 2004 г., обеспечившее сравнительно благополучное состояние популяции наваги во второй половине 2000-х годов, сформировано нерестом, пик которого длился с конца декабря по середину января, а провальный нерест 2011 г., положивший конец периоду благополучия, массово начался в середине декабря и закончился в середине января, т.е. приблизительно в те же сроки. Однако следует учесть, что, как выяснено ранее при детальном исследовании внутрисезонной динамики нереста [2], в течение нерестового периода может наблюдаться несколько подходов производителей, нагуливавшихся в разных условиях. А именно: в нерест вначале вступают молодые особи, прежде всего двухлетки, нагуливавшиеся на мелководье с более высокими летними температурами, а затем старшевозрастные рыбы, нагуливавшиеся за пределами Амурского залива в менее тёплых водах. Поэтому в зависимости от возрастного состава нерестового запаса ход нереста внутри нерестового периода может быть разным, т.к. доля двухлеток в исследованный период менялась очень сильно: от 18 до 98 % (рис. 9). В частности, в годы успешного нереста (2004 и 2009 гг.) двухлетки составляли около половины нерестового запаса (57 и 47 %, соответственно), а в провальном 2011 г. –

почти весь запас (98 %). Соответственно, в 2004 и 2009 гг., несмотря на раннее начало нереста, сроки выклева значительной части личинок и перехода их на активное питание были близки к обычным, к которым навага эволюционно приспособилась и в которые можно ожидать наличие в планктоне достаточного количества пищи для них, а в 2011 гг. большая часть потомства появилась при необычно раннем, декабрьском нересте, следовательно, личинки могли выклонуться уже в марте, до начала весеннего развития планктона, и погибнуть.

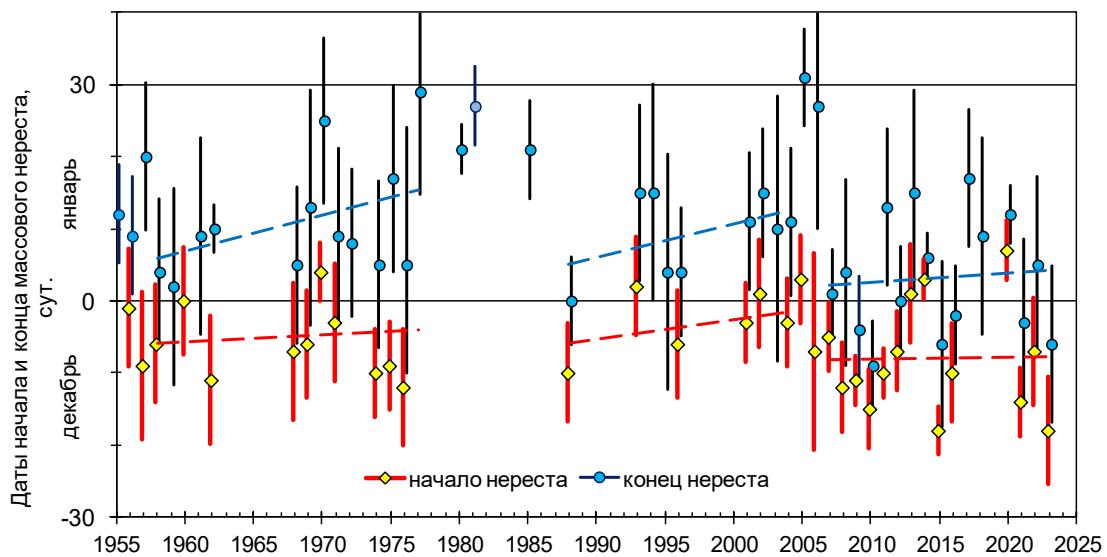


Рис. 8. Сроки начала и конца массового нереста наваги в Амурском заливе. Для каждого года, когда проводились наблюдения за зрелостью самок, символами показаны даты достижения 50 % доли преднерестовых и отнерестовавших самок в уловах, а усиками вверх и вниз от символов – межквартильные интервалы $\pm 0,68\sigma$ от этих дат, в течение которых вступала в нерест или выходила из нереста половина особей. Пунктиром показаны линейные тренды межгодовых вариаций сроков для периодов 1958–1977, 1988–2004 и 2007–2023 гг. [2]

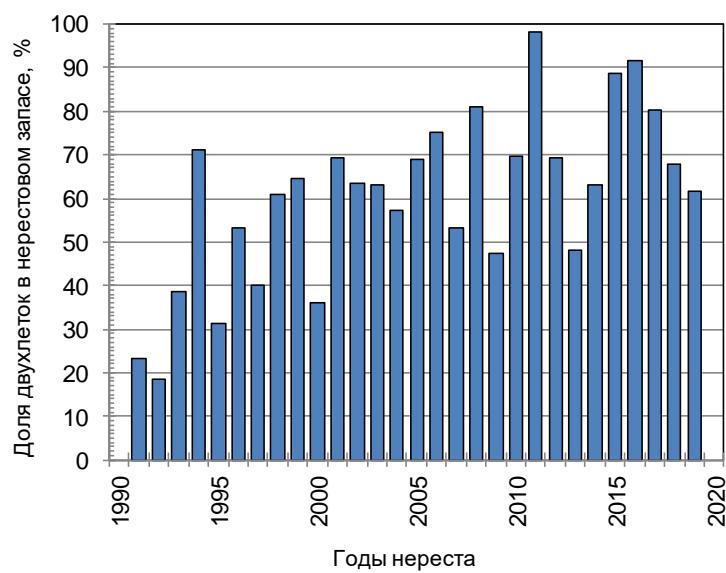


Рис. 9. Динамика доли двухлеток в нерестовом запасе наваги в Амурском заливе

На фоне тенденции к смещению сроков массового нереста наваги, обусловленной потеплением климата, наблюдаются короткопериодные смещения сроков на более ранние даты с последующим восстановлением близких к обычным дат. Так, после перехода к декабрьскому нересту в результате климатического сдвига 1988–1989 гг., примерно за пять лет январский нерест восстановился, в середине 1990-х гг. сроки нереста опять сдвинулись на конец декабря – начало января, но

постепенно восстановились к 2005 г., в период относительно высокого запаса с появлением нескольких урожайных поколений сроки нереста сначала сместились на декабрь но в конце этого периода опять вернулись в январь, наконец, после нескольких лет резких колебаний возобладала тенденция к раннему нересту, который в середине 2020-х гг. происходит уже в середине декабря (см. рис. 8). Полагаем, что такие колебания сроков нереста не связаны с климатообусловленной тенденцией, а отражают внутрипопуляционный процесс старения урожайных поколений, по мере которого они запаздывают с нерестом (что в современных условиях благоприятствует успеху воспроизводства), с элиминацией которых усиливается вклад молодых производителей, нерестящихся раньше (что может привести к депрессии популяции). Этот механизм пока позволяет популяции оставаться достаточно толерантной к происходящим климатическим изменениям. По крайней мере, в отличие от таксономически родственного вида – минтая, перед навагой не встаёт непреодолимый барьер, препятствующий восстановлению былой численности, как уменьшение экологической ёмкости биотопа. Биотоп наваги вполне способен содержать более крупную её популяцию, а состояние среды обитания и связанные с ним изменения сроков нереста всё же пока что оставляют возможность для появления высокоурожайных поколений этого вида. Вместе с тем вполне очевидно и ограничение расширенного воспроизводства наваги – урожайные поколения не могут дать урожайное потомство сразу же по достижении половой зрелости.

Исходя из выявленных особенностей воспроизводства наваги Амурского залива, в современных климатических условиях следует ожидать устойчивого сохранения этой популяции на уровне низкой численности. Рост численности популяции возможен при релаксации климатической системы с понижением летне-осенних температур в придонном слое на шельфе зал. Петра Великого. Потенциально этому могут способствовать и меры по регулированию промысла наваги, прежде всего в направлении ограничения вылова крупноразмерных старшевозрастных особей при траловом промысле за пределами Амурского залива, однако, учитывая незначительный вылов, эффективность таких мер сомнительна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хен, Г. В., Устинова, Е. И., Сорокин, Ю. Д., Матюшенко, Л. Ю. Долгопериодные изменения термических характеристик поверхностных вод Японского моря и зал. Петра Великого и их связь с крупномасштабными климатическими процессами // Труды ВНИРО. – 2020. – Т. 180. – С. 72–87.
2. Зуенко, Ю. И., Черноиванова, Л. А. Динамика сроков массового нереста дальневосточной наваги *Eleginus gracilis* (Gadidae) в Амурском заливе Японского моря // Вопросы ихтиологии. – 2025. – Т. 65. – № 1. – С. 73–83.
3. Аксютина, З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. – Москва : Пищевая промышленность, 1968. – 288 с.
4. Ricker, W. E. Stock and recruitment // J. Fish. Res. Educ. Canada. – 1954. – Vol. 11. – Pp. 559–623.
5. Зуенко, Ю. И., Нуждин, В. А. Влияние современных изменений океанологических условий в Японском море на состояние запасов приморской популяции минтая // Вопросы рыболовства. – 2018. – Т. 19. – № 3. – С. 377–386.
6. Кушинг, Д. Х. Морская экология и рыболовство. – Москва : Пищевая промышленность, 1979. – 288 с.

**DYNAMICS OF REPRODUCTION
FOR SAFFRON COD IN THE AMUR BAY, JAPAN SEA
IN MODERN CONDITIONS
OF LOW ABUNDANCE AND CLIMATE WARMING**

Zuenko Yury Ivanovich, D.Sc., leading researcher

Pacific branch (TINRO) of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Vladivostok, Russia, e-mail: zuenko_yury@hotmail.com

Abstract. To evaluate the prospects of saffron cod fishery in the Amur Bay, where the population is in depression since the climate shift to warming in late 1980-s, dynamics of the stock and its reproduction patterns are considered on the data of trawl surveys conducted in 1991–2019, fishery statistics and biological analysis of commercial catches. Good capability of the local biotope to maintain an abundant population of saffron cod is concluded, and the species reproduces rather well, but its extended reproduction is prevented by high mortality in strong year-classes. This limitation is explained by the shift in timing of mass spawning from January to December, with the earliest spawning of the most abundant young spawners. Too early spawning is possibly unfavorable for survival of the saffron cod larvae because of mismatch between the timing of their hatching and the spring bloom of zooplankton in April.

Keywords: saffron cod, climate warming, sea bottom temperature, year-class strength, reproduction efficiency, Amur Bay, Peter the Great Bay

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ ЖИЗНЕСТОЙКОСТИ МОЛОДИ КЕТЫ НА САХАЛИНСКИХ ЛОСОСЕВЫХ РЫБОВОДНЫХ ЗАВОДАХ

¹Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук,
доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов

²Карпенко Ирина Витальевна, инженер-исследователь научно-исследовательской лаборатории
«Электрохимические источники для возобновляемой энергетики»

³Гринберг Екатерина Владимировна, методист отдела методической поддержки
образовательных программ и внедрения новых форм дополнительного образования

^{1,2}ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»,
Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: ¹vesna271@rambler.ru, ²irinakarpenko99@mail.ru

³ГАУ СО РЦ «Унисон»,
Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: ³ekaterina-grinberg@yandex.ru

Аннотация. В современной пастбищной аквакультуре фактически отсутствуют четко сформулированные критерии, позволяющие определять жизнестойкость и иммунный статус молоди тихоокеанских лососей, выпускаемой с ЛРЗ. При поддержке федеральной программы «Приоритет–2030» в СахГУ с 2023 г. проводятся работы по проекту «Разработка критерииов определения жизнестойкости молоди лососей». Первые результаты исследований показали различия в гистологических, гематологических, биохимических показателях и микроэлементном составе молоди в зависимости от применяемых отечественных кормов.

Ключевые слова: критерии, молодь кеты, корма, эффективность подращивания

Введение

Сахалинская область продолжает занимать лидирующие позиции по воспроизведству водных биологических ресурсов. Деятельность по искусственному разведению тихоокеанских лососей здесь осуществляют более 80 рыбоводных предприятий различных форм собственности [1]. По информации Сахалино-Курильского территориального управления ФАР, летом 2024 г. выпуск молоди лососей, в основном, кеты, составил более 1,4 млрд шт., что обеспечит большую часть вылова этого вида в российских водах.

Наиболее прогрессивным и общепризнанным для подращивания молоди кеты в условиях крупномасштабного ло сосеводства считается применение сухих экструдированных комбикормов. Ведущие места по производству качественных, полноценных и сбалансированных кормов для тихоокеанских лососей в мире занимают Япония, США и Дания [2].

Для подращивания молоди лососей на всех ЛРЗ Сахалинской области до 2022 г. использовали сбалансированные экструдированные корма датского бренда «Aller Aqua». Эти корма зарекомендовали себя как наилучшие с точки зрения эффективности подращивания молоди – минимальный коэффициент оплаты корма, высокие показатели выживаемости и здоровья мальков. После введения санкций вопрос выбора кормов для искусственно выращиваемой молоди горбуши и кеты встал как никогда остро.

В 2023 и 2024 гг. подращивание молоди лососей на ЛРЗ Сахалина и Курил осуществляли с использованием отечественных крупок, в основном производства завода "Aquarex" (линейка «Лосось старт ВНИРО») и ООО НПК «Акватех» (линейка ЭСКТЛ) производства Новосибирска [3]. Однако, эффективность выращивания и жизнестойкость молоди, полученной с применением этих кормов, до сих пор неизвестны, а их рецептуры постоянно дорабатываются и совершенствуются.

Корма нуждаются в апробации и подтверждении их эффективности. У них отсутствуют четкие показатели пригодности для молоди тихоокеанских лососей.

До настоящего времени основным критерием, служащим показателем качества выпускаемой молоди, являются ее размерно-весовые характеристики. Физиологические и биохимические параметры применяют чисто эмпирически, вне комплексной взаимосвязи; не проведена корреляция соответствия предлагаемых рецептур кормов конкретным и специфическим экологическим условиям различных ЛРЗ. Нет четкого понимания, насколько молодь, выращенная с применением отечественных кормов способна к выживанию и значительному промысловому возврату.

Для апробации и подтверждения эффективности отечественных стартовых кормов для лососеводства, в конце 2023 г. в СахГУ при поддержке федеральной программы «Приоритет-2030» был разработан и запущен проект «Разработка критериев определения жизнестойкости молоди лососей».

Материал и методы

Площадками для сбора материала для исследований и отработки методик определения критериев жизнестойкости молоди и ее иммунного статуса в рыбоводных циклах 2023-2024 стали четыре ЛРЗ о. Сахалин: Адо-Тымовский, Охотский, Лесной (восточное побережье) и ЛРЗ «Красноярка» (западное побережье о. Сахалин) (рис. 1). В качестве контрольной группы дикую молодь собирали в базовых водотоках – реке Очепуха (базовый водоток ЛРЗ «Охотский») и ручье Рыбоводном (базовый водоток ЛРЗ «Лесной»).



Рис. 1. Точки сбора проб

Заводских мальков анализировали за 1-7 дней перед выпуском с предприятий. Отбор производили из рыбоводных каналов, методом усредненных проб.

Весовая характеристика молоди кеты различных групп кормления в период проведения исследований (май-июнь 2024 г.) приведена на рис. 2.

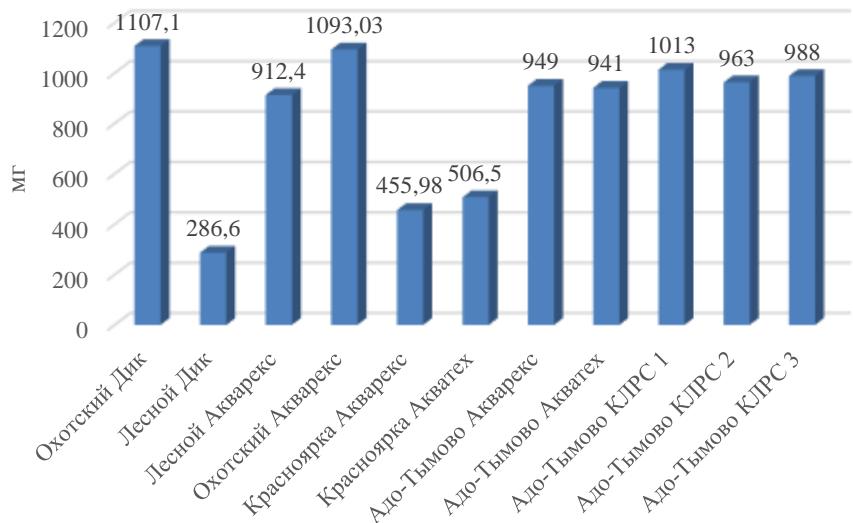


Рис. 2. Весовые характеристики молоди кеты различных групп кормления в период проведения исследований (май-июнь 2024 г.).

В работе проводили оценку качественных показателей молоди кеты, потреблявшей корма различных производителей: "Aquarex" (Акварекс), содержащие в своем составе кормовой биопротеин на основе белков микробного синтеза (линейка «Лосось старт ВНИРО») и ООО НПК «Акватах» (линейка ЭСКТЛ), а также опытные партии комбикормов производства филиала ФГБНУ «ВНИРО» «ВНИИПРХ» на полупромышленной линии Amandus Kahl (Германия) – КЛРС 1, КЛРС 2 и КЛРС 3. Опытные (экспериментальные) рецептуры имели между собой следующие отличия: КЛРС 1–24 – 10 % кормовой добавки на основе дрожжей; КЛРС 2 – 10 % гидролизата куриного белка, КЛРС 3 – 5 % гемоглобина.

Всего на производственных мощностях ЛРЗ, а также с их базовых водотоков в мае-июне 2024 г. было собрано более 4500 проб молоди для проведения исследований по четырем направлениям (микроэлементный анализ, биохимия, гематология и гистология). Исполнители проекта – специалисты рыбоводных заводов, ученые, преподаватели и студенты СахГУ и других ведущих ВУЗов России. Консультативная поддержка проектировалась ГНЦ РФ ФГБНУ ВНИРО.

Для комплексной оценки выпускаемой молоди использовали целый ряд показателей: биохимические (содержание белка, липидов, состав аминокислот и жирных кислот), гистологические (морфологическое состояние гепатоцитов, слизистого слоя желудка, кишечника и поджелудочной железы), гематологические (определение количества незрелых эритроцитов, лейкоцитарная формула, число тромбоцитов), микроэлементный состав тела (содержание в тканях эссенциальных и неэссенциальных элементов – Fe, Zn, Cu, Ni, Cd и Pb), темп роста, размерно-весовые параметры, выживаемость, затраты корма на единицу прироста рыбы, экологические условия искусственного разведения и другие.

Первичная пробоподготовка для проведения гистологического, биохимического, гематологического и микроэлементного анализа осуществлялась в соответствии с требованиями для каждого вида испытаний [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Для составления экологического анамнеза онтогенеза молоди по итогам рыбоводного цикла 2023-2024 гг. собраны и проанализированы данные журналов гидрометеонаблюдений, градусодней, кормления, биологических анализов, ихтиопатологического состояния рыбоводной продукции и другие показатели.

Кроме основных видов исследований, проведен тест на осмотолерантность, полный биологический и ихтиопатологический анализ молоди [10, 11, 12, 13, 14, 15].

Результаты и обсуждение

Полученные данные уже за первый год проведения исследований показали различия биологических показателей молоди, выращиваемой в разных условиях, на кормах различных рецептур.

Результаты подращивания молоди кеты на различных кормах в рыбоводном цикле 2023-2024 гг. (Адо-Тымовский ЛРЗ) приведены на рисунке 3.

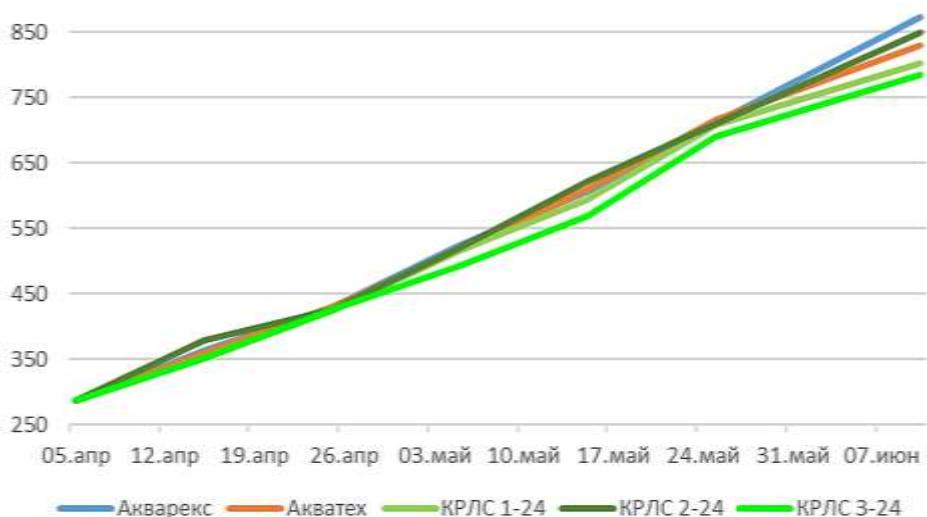


Рис. 3. Изменение массы молоди кеты на Адо-Тымовском ЛРЗ, 2024 г.

По ростовым показателям лучшие показатели получены на кормах Акварекс, КРЛС-2 и Акватех. Средние кормовые затраты на всех каналах – 0,8. Выживаемость составила 98,5 % (Акварекс и опытные корма), 99,5 % - (Акватех), коэффициент упитанности – от 1,13 до 1,19.

Непосредственно на рыбоводных предприятиях (Адо-Тымовский, Охотский, Лесной ЛРЗ, ЛРЗ «Красноярка») проводили тест на осмотолерантность (рис. 4).



Рис. 4. Постановка теста на осмотолерантность (Адо-Тымовский ЛРЗ)

Гибель покатной молоди кеты на всех заводах в период проведения теста не превышала 1,5-3,0 %, что свидетельствует о высокой адаптивной способности смолтов на данном этапе.

При оценке состава крови мальков кеты были установлены некоторые отличия в лейкоцитарной формуле крови заводской молоди с Лесного ЛРЗ и дикой молоди из базового водотока: у искусственной молоди доля сегментоядерных клеток, моноцитов было достоверно ниже соответствующих значений дикой. Аналогичная картина наблюдалась в крови молоди с Охотского ЛРЗ и дикой из базового водотока. В мазках крови молоди группы кормления КЛРС 1, подрашиваемой на ЛРЗ «Адо-Тымово», наблюдали наименьшее количество молодых клеток (эритробластов) среди всех исследованных нами рыб – 12,8 %, и наибольшее количество моноцитов (23,4 %), что, возможно, свидетельствует о наличии провоспалительных факторов в период кормления (табл. 1).

Таблица 1
Показатели крови заводской молоди кеты разных групп кормления и дикой

Происхождение, группа кормления	Эритроцитарный ряд			Лейкоцитарный ряд		
	Базофилы	Полихроматофилы	Эритробlastы	Нейтрофилы	Моноциты	Лимфоциты
Лесной ЛРЗ, Акварекс	109,6±7,5 97 – 116	86,6±23,3 56 – 110	24,0±5,4 16 – 29	11,8±5,5 5 – 19	10,4±2,4 7 – 13	77,8±7,2 70 – 86
р. Очепуха, дикая молодь	120,0±7,5 113 – 132	85,6±22,1 60 – 108	21,2±3,6 16 – 25	12,2±3,5 8 – 18	14,2±1,4 12 – 16	73,6±4,2 68 – 79
Охотский ЛРЗ, Акварекс	102,8±6,7 95 – 109	86,0±17,2 63 – 101	20,8±3,3 15 – 23	11,2±3,9 5 – 15	12,6±2,8 9 – 16	76,2±2,6 73 – 79
руч. Рыбоводный, дикая молодь	95,8±5,6 91 – 105	70,0±12,9 57 – 89	14,4±3,2 10 – 18	8,2±3,8 5 – 14	15,6±2,7 12 – 19	76,2±4,5 69 – 81
ЛРЗ «Адо-Тымово», Акварекс	110,2±6,1 101 – 118	66,8±12,0 53 – 85	19,6±4,9 15 – 25	9,4±1,8 7 – 11	12,0±1,4 10 – 13	78,6±2,5 76 – 82
ЛРЗ «Адо-Тымово», Акватех	137,6±15,1 120 – 154	72,8±17,1 97 – 116	21,2±3,1 18 – 26	11,2±4,1 6 – 16	8,4±1,5 7 – 11	80,4±3,6 76 – 85
ЛРЗ «Адо-Тымово», КЛРС 1	129,4±17,9 112 – 155	61,2±6,2 53 – 68	12,8±2,2 10 – 16	21,8±5,8 12 – 26	21,4±2,4 18 – 24	56,8±6,5 50 – 66
ЛРЗ «Адо-Тымово», КЛРС 2	140,0±15,2 125 – 157	63,4±11,3 53 – 80	17,4±11,3 13 – 24	9,6±1,1 8 – 11	7,2±1,1 6 – 9	83,2±1,9 81 – 86
ЛРЗ «Адо-Тымово», КЛРС 3	146,0±29,1 113 – 179	74,6±14,8 55 – 92	20,4±4,3 16 – 26	10,6±3,5 7 – 16	13,0±2,2 10 – 16	76,4±3,7 72 – 82
ЛРЗ «Красноярка», Акварекс	141,8±13,4 127 – 162	83,0±14,4 70 – 103	17,6±3,2 14 – 22	11,0±4,3 7 – 18	10,4±3,9 7 – 16	78,6±5,0 74 – 85
ЛРЗ «Красноярка», Акварекс	138,6±22,5 101 – 154	68,8±16,7 54 – 92	20,2±3,5 16 – 24	12,4±4,6 7 – 18	8,0±1,2 6 – 9	79,6±4,8 74 – 85

В целом, клеточный состав крови молоди дикой и заводской кеты соответствовал гематологической картине, типичной для лососеобразных рыб. В крови присутствовали клеточные элементы эритроцитарной, гранулоцитарной (нейтрофилы), моноцитарной и лимфоидной линий. Значительное разнообразие клеток свидетельствовало о хороших адаптивных способностях молоди.

Исследования тканей показали некоторые гистоморфологические различия, к примеру, дикая молодь лососей демонстрировала адаптивные изменения в структуре тканей ЖКТ, направленные на более эффективное всасывание питательных веществ. Это связано с колебаниями в доступности и составе естественного корма. В частности, у диких рыб наблюдалось увеличение высоты адсорбирующего эпителия кишечника и вакуолизация печени, что может быть результатом ограничения естественной кормовой базы (рис. 5).

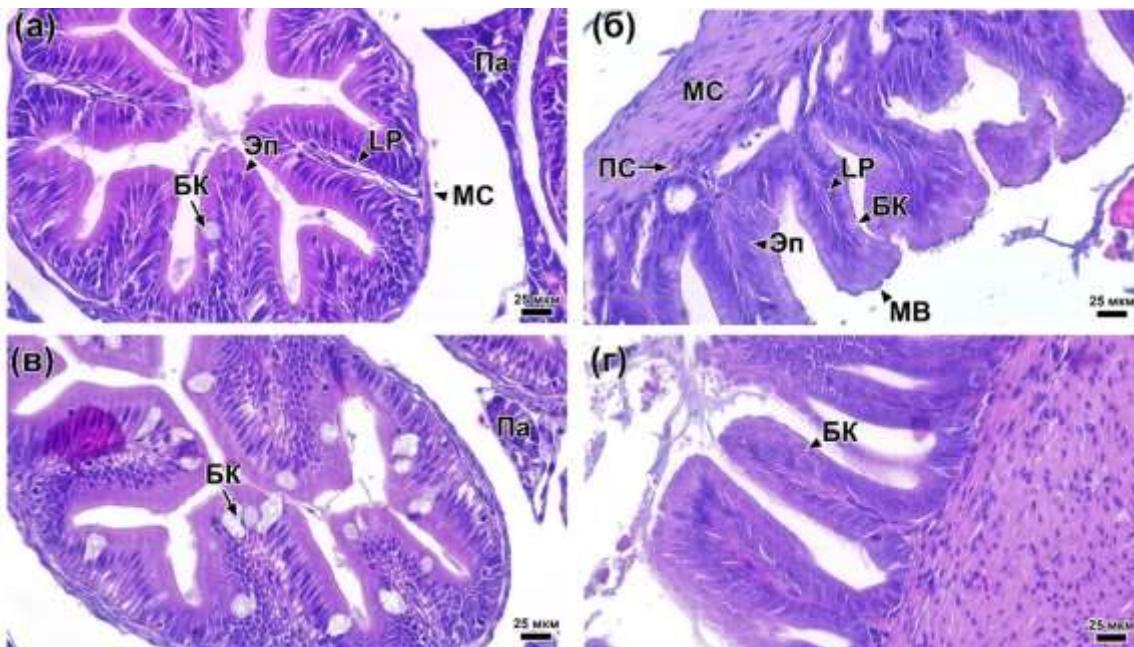


Рис. 5. Пилорические придатки и средний отдел кишечника дикой молоди кеты из руч. Рыбоводный (а) и молоди с рыбоводного завода «Охотский» (корм Акварекс) (б).

Сокращения:

БК – бокаловидная клетка, Эп – адсорбирующие эпителий, LP – lamina propria, MC – мускульный слой, MB – микроворсинки, ПС – подслизистый слой, ПА – панкреас. Окраска H&E, шкала масштаба 25 мкм.

Несмотря на отсутствие серьезных патологий во всех группах кормления, полученные данные подчеркивают необходимость оптимизации состава кормов для рыбоводства. Некоторые корма могут вызывать вакуолизацию гепатоцитов, что указывает на потенциальный дисбаланс питательных веществ.

Анализ данных химического состава мышечной ткани кеты (табл. 2), свидетельствует об отсутствии достоверных отличий между группами рыб. Обводненность мышечной ткани кеты не превышала 82 %. Содержание белка варьировало от 15,94 до 16,67 %. Количество липидов находилось в диапазоне 2,8-3,6 %. Высокий уровень золы связан с тем, что из-за маленького размера рыбы средняя проба содержала достаточное количество межмышечных костей. Следует отметить, что данные по химическому составу молоди были близки биохимическим показателям дикой молоди [16].

Таблица 2

Химический состав мышечной ткани молоди кеты, выращенной в условиях ЛРЗ Красноярка, Лесной и Адо-Тымовский (2024 г.)

Шифр комбикорма	Содержание, %			
	влаги	белка	жира	золы
Адо-Тымовский ЛРЗ				
КРЛС 1-24	80,48±0,14	16,19±0,13	3,22±0,13	1,57±0,07
КРЛС 2-24	81,04±0,19	15,94±0,13	2,91±0,12	1,47±0,01
КРЛС 3-24	80,08±0,25	16,30±0,06	3,08±0,10	1,54±0,08
Акварекс	80,79±0,16	16,21±0,14	2,99±0,09	1,45±0,06
Акватех	80,14±0,19	16,27±0,13	2,84±0,13	1,56±0,07
ЛРЗ Красноярка				
Акварекс	80,73±0,15	16,64±0,10	3,54±0,11	1,39±0,02
Акватех	80,44±0,20	15,62±0,07	3,62±0,08	1,42±0,03
Лесной ЛРЗ				
Акварекс	81,74±0,25	16,67±0,09	2,66±0,07	1,55±0,05

Аминокислотный состав белков мышечной ткани исследованных рыб представлен 18 аминокислотами. В мышечном белке исследованных рыб преобладали заменимые аминокислоты. Их суммарное количество составило от 58 до 60 г/100 г белка. Среди заменимых аминокислот наибольшее количество приходилось на аспарагиновую кислоту (от 9,66 до 9,79 г/100 г белка) и глутаминовую кислоту (от 15,74 до 16,61 г/100 г белка).

Суммарное количество незаменимых аминокислот (треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин) составило в среднем 39 г/100 г белка. Выявлено, что доминирующими незаменимыми аминокислотами в белке кеты являются лизин (8,62-8,78 г/100 г белка) и лейцин (7,82-8,07 г/100 г белка).

В целом, аминокислотный профиль ранней молоди кеты по содержанию и соотношению аминокислот близок к данным, полученным рядом исследователей на взрослой рыбе [17]. Однако, если для дикой молоди характерно превалирование ПНЖК, то для кеты, выращиваемой на искусственных кормах, преимуществуют мононенасыщенные жирные кислоты. Интересным является тот факт, что если в некоторых кормах ЭПК было больше, чем ДГК, а в других – наоборот, содержание ДГК превышало ЭПК или же они были близки; но во всех образцах рыбы ДГК было больше в 1,5-2,7 раз, чем ЭПК. Возможно, это является характерным признаком для метаболизма тихоокеанских лососевых рыб в условиях искусственного воспроизводства.

Заключение

Сопоставление и корреляция полученных данных, собранных в течение ряда лет, и их анализ позволяют получить картину оптимальных параметров молоди перед выпуском, обеспечивающих ее высокий иммунный статус и дальнейшую жизнестойкость. Для описания оптимальных параметров молоди планируется использовать балльную систему, характеризующую отклонения от оптимума в различных условиях.

На основании полученных параметров будут не только выявлены критерии, определяющие наиболее адекватные комбикорма для молоди тихоокеанских лососей (в частности кеты), но и проведена оценка степени изменений физиологического состояния искусственно разводимой молоди кеты при выращивании на кормах различных рецептур; а также будет установлено влияние состава комбикормов на формирование качественных показателей заводской молоди в процессе выращивания, смолификации и покатной миграции.

Полученная базовая модель выращивания молоди, учитываяшая, в том числе, экологические условия выращивания и качество кормов, будет предложена в виде методических рекомендаций для рыбоводных предприятий, методы прогнозирования промыслового возврата будут весомо дополнены и станут менее субъективными, что значительно увеличит эффективность работы рыбопромышленного комплекса на Дальнем Востоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Организация дополнительных исследований в области искусственного воспроизводства тихоокеанских лососей в Сахалинском государственном университете / А. В. Литвиненко, Е. В. Гринберг, И. В. Карпенко, А. В. Юрьев // Рыбное хозяйство. – 2025. – № 1. – С. 82–90.
2. Кальченко, Е. И. Оценка физиолого-биохимических показателей молоди кеты и чавычи при искусственном воспроизводстве : автореф. дисс. ... канд. биол. наук. – Астрахань, 2010. – 25 с.
3. Зеленников, О. В. Научно-производственная компания «АКВАТЕХ» новый лидер в производстве стартовых кормов для молоди тихоокеанских лососей / О. В. Зеленников, М. С. Мякишев // Рыбное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 91–95.
4. Suvarna, K. S., Layton, C., Bancroft, J. D. Bancroft's theory and practice of histological techniques. – Elsevier health sciences, 2018. – 603 p.
5. Методические указания по проведению гематологического обследования рыб № 13-4-2-/1487 от 02.02.99 г. – Москва : Министерство сельского хозяйства и продовольствия, 1999.
6. Правила взятия патологического материала, крови, кормов и пересылки их для лабораторного исследования // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. – Ч. 1. – Москва : Отдел маркетинга АМБ-агро, 1998. – С. 53–58.

7. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введ. 01.01.1986. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 89 с.

8. ГОСТ 26929-94. Сырьё и продукты пищевые. Подготовка проб. Межгосударственный стандарт: утвержден и введен в действие непосредственно в качестве государственного стандарта Российской Федерации с 1 января 1996 г. / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом консервной и овощесушительной промышленности. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 122 с.

9. ГОСТ 30178-96. Сырьё и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов: межгосударственный стандарт: утверждён и введен в действие Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации от 26.03.1997 № 112: введен впервые: дата введения 01.01.1998 / разработан Институтом питания Российской академии медицинских наук. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 10 с.

10. Методические указания по определению уровня естественной резистентности и оценке иммунного статуса рыб // Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. – Ч. 2. – Москва : Отдел маркетинга АМБ-агро, 1999. – С. 98–124.

11. Веселов, Е. А. Методы изучения осморегуляции у рыб // Руководство по методам исследований физиологии рыб. – Москва : Академия наук СССР, 1962. – С. 178–203.

12. Методика паразитологического инспектирования морской рыбы и рыбной продукции (морская рыба-сырец, рыба охлажденная и мороженая). – Москва : ВНИРО, 1989. – 40 с.

13. Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. – Ч. 1. – Москва : Отдел маркетинга АМБ-агро, 1998. – 310 с.

14. Правдин, И. Ф. Руководство по изучению рыб. – Москва : Пищевая промышленность, 1966. – С. 43–46.

15. Лиманский, В. В., Яржомбек, А. А., Бекина, Е. Н., Андронников, С. Б. Инструкция по физиолого-биохимическим анализам рыбы. – Москва, 1984. – 59 с.

16. Гистология для экологов: опыт и советы / Е. В. Микодина и др. – Москва : Издательство ВНИРО, 2009. – 112 с.

17. Абрамова, Л. С., Козин, А. В. Оценка нутриентного и метаболического профиля кеты тихоокеанской (*Oncorhynchus keta*)// Прикладная биохимия и микробиология. – 2024. – Т. 60. – № 1. – С. 90–100.

THE FIRST RESULTS OF DETERMINING THE VITALITY CRITERIA OF JUVENILE CHUM SALMON AT THE SAKHALIN RESEARCH STATION

¹Litvinenko Anna Vladimirovna, PhD. Associate Professor of the Department of Ecology, Biology and Natural Resources

²Karpenko Irina Vitalievna, Research Engineer at the Electrochemical Sources for Renewable Energy Research Laboratory

³Grinberg Ekaterina Vladimirovna, Methodologist, Department of Methodological support of educational programs and introduction of new forms of additional education;

^{1,2}FSBEI HE "Sakhalin State University",
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: ¹vesna271@rambler.ru, ²irinakarpenko99@mail.ru

³SAI SR RC "Unison",
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, e-mail: ³ekaterina-grinberg@yandex.ru

Abstract. In modern pasture aquaculture, there are virtually no clearly formulated criteria for determining the vitality and immune status of juvenile Pacific salmon released from hatcheries. Since 2023, Sakhalin State University has been conducting research on the project "Development of Criteria for Determining the Vitality of Salmon Juveniles" with the support of the federal program "Priority 2030". The first research results have shown differences in the histological, hematological, biochemical indicators, and trace element composition of the juveniles, depending on the type of domestic feed used.

Keywords: criteria, juvenile chum salmon, feed, and rearing efficiency

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

¹Пильгандук Оксана Александровна, канд. биол. наук, зав. лаб. молекулярной генетики

²Крупенёва Мария Валерьевна, специалист лаборатории молекулярной генетики

³Савенков Владимир Владимирович, ведущий специалист лаборатории
молекулярной генетики

^{1,2,3}Камчатский филиал ФГБНУ ГНЦ РФ Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО),
Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: ¹o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru

Аннотация. Исследована аллельная изменчивость семи микросателлитных локусов (*Oki1a*, *Oki1b*, *Oki6*, *Ots107*, *OtsG68*, *One104*, *One109*) в четырех популяциях нерки юго-восточного побережья Камчатки. Все локусы, за исключением *Ots107* (в выборке из р. Авача) были полиморфны, оценки наблюдаемой гетерозиготности варьировали от 0,168 до 0,799. Общая оценка дифференциации между исследуемыми выборками (F_{st}) составила 0,118. Наибольший вклад в подразделенность вносят локусы *Oki1a* (0,216) и *Oki6* (0,182). Значения попарных оценок генетической дифференциации F_{st} показали, что различия были достоверны между всеми выборками.

Ключевые слова: генетическая структура, популяционная генетика, нерка (*Oncorhynchus nerka*), микросателлитные локусы, изменчивость

Введение

Нерка (*Oncorhynchus nerka*) является одним из наиболее ценных объектов рыболовства на Камчатке. Как и у всех представителей лососевых рыб, у нее ярко выражена способность возвращаться к местам происхождения – хоминг. Среди других тихоокеанских лососей нерка отличается широкой экологической пластичностью, образуя различные формы (проходную и жилую) и сезонные расы (летнюю и осеннюю). Кроме того, нерка может быть представлена речной, озерной и ручьевой формами [1]. Несмотря на определенные успехи и практические достижения в области изучения ее внутривидовой генетической изменчивости, остается много нерешенных вопросов, касающихся дифференциации популяций, популяционно-генетической структуры, генетического разнообразия и ряда других проблем [2, 3, 4]. Крайне мало изучены на основе молекулярно-генетических методов популяции нерки на юго-востоке Камчатки [2, 5]. При этом следует отметить, что водоемы этой части полуострова находятся рядом с наиболее населенными районами и активно эксплуатируются промыслом. Согласно «Стратегии промысла тихоокеанских лососей в Камчатском krae» в Авачинском заливе на сегодняшний день действует запрет на промышленный и любительский лов лососей.

Цель настоящей работы – охарактеризовать популяции нерки юго-восточного побережья Камчатки по частотам микросателлитных локусов ядерной ДНК.

Материалы и методы

В работе было проанализировано четыре выборки нерки (192 экз) из водоемов юго-восточного побережья Камчатки (рис. 1, табл.1). Исследована изменчивость семи микросателлитных локусов – *Oki1a*, *Oki1b*, *Oki6*, *Ots107*, *OtsG68*, *One104*, *One109* (табл. 2). Материалом для выделения ДНК послужили фрагменты плавников рыб, собранные на нерестилищах. Выделения проводили по стандартному протоколу [6]. Условия проведения ПЦР (полимеразная цепная реакция) описаны ранее [3].

В качестве маркера длин фрагментов использовали ДНК плазмида pBR322, обработанную рестриктазой *HpaII*. Продукты амплификации разделяли в 6 % неденатурирующем полиакриламидном геле в 0.5xTBE-буфере, pH 8,0 [6] при 300В, окрашивали бромистым этидием и фотографировали в УФ-свете.

Таблица 1

**Характеристика материала, отобранного
для исследования нерки юго-восточного побережья Камчатки**

№	Место сбора	Дата сбора	Условное обозначение	Объем выборки (экз.)
1	Оз. Дальнее	17-21.07.2021	DALNY	48
2	Р. Авача	XX.XX.2004	AVACH	48
3	Р. Асача	05.-20.08.2011	ASACH	48
4	Р. Жупанова	05.07.2012	ZHUPAN	48
Всего				192



Рис. 1. Карта-схема сбора материала. 1 – DALNY; 2 – AVACH; 3 – ASACH; 4 – ZHUPAN.
Обозначения выборок приведены в табл. 1

Таблица 2

Характеристика микросателлитных локусов, использованных в работе

Локус	T отжига, °C	Последовательность праймеров	Источник информации
Ots107	51	F – ACA-GAC-CAG-ACC-TCA-ACA R – ATA-GAG-ACC-TGA-ATC-GGTA	[7]
Oki1a	57,5	F – AGG-ATG-GCA-GAG-CAC-CAC-T R – CAC-CAT-AAT-CAC-ATA-TTC-AGA	[8]
Oki1b	57,5	F – AGG-ATG-GCA-GAG-CAC-CAC-T R – CAC-CAT-AAT-CAC-ATA-TTC-AGA	[8]
One104	53,5	F – GCT-ACT-ACA-ATC-CTA-GTC-TGT-GAT-T R – CAT-CTT-CTT-CAG-TGG-CTG-TAG-AT	[9]
Oki6	48	F – TCA-ACA-GAT-AGA-CAG-GTG-ACA-CA R – AAC-AGA-CAG-CTA-ATG-CAG-AAC-G	[8]
One109	53,5	F: – AGG-GAG-AGA-AGA-GAG-GGA-GA R: CCT-CAG-AAG-TAG-CAT-CAG-CTC	[9]
OtsG68	48	F – TAT-GAA-CTG-CAG-CTT-GTT-ATG-TTA-GT R – GTT-TCA-TGT-CGG-CTG-CTC-AAT-GTA	[10]

Программный пакет GenAlEx6 [11] применялся для анализа частот аллелей, ожидаемой H_e и наблюдаемой H_o гетерозиготности, параметров F -статистики (F_{is} , F_{it} и F_{st}), генетического разнообразия локусов в популяциях, а также для проверки на соответствие распределению Харди–Вайнберга. В этой же программе определялись количество аллелей (N_a), количество эффективных аллелей (N_e), число мигрантов на поколение (N_m) и индекс Шеннона (I). FSTAT 2.9.3 использовался для оценки аллельного разнообразия с учетом минимального объема выборки [12].

Для количественного определения различий между популяциями были рассчитаны генетические дистанции по методу М. Нея [13] с помощью программы GenAlEx6. Информативность микросателлитных локусов была определена путем расчета показателя информационного полиморфизма (PIC) с использованием программного обеспечения Cervus 3.0.7 [14]. Для проверки микросателлитных локусов на нейтральность был выполнен тест Эванса–Ваттерсона с использованием алгоритма Манли [15] в программном пакете Popgene 1.31 [16]. Для оценки неравновесия по сцеплению локусов использовалась программа Genepop 4.7.0 [17].

Для изучения генетической дифференциации Fst применялась программа Arlequin ver. 3.5 [18]. Анализ генетической структуры популяций выполнялся с применением программы STRUCTURE 2.3.4. [19]. Оптимальное количество генетических кластеров было установлено с помощью программы StructureSelector [20] на основе метода Пюхмайля [21].

Результаты и обсуждение

В результате анализа генетического разнообразия нерки из водоемов юго-восточной Камчатки по семи микросателлитным локусам, было выявлено в общей сложности 58 аллелей (табл. 3). Локус *Ots107* продемонстрировал максимальные значения полиморфизма (21 аллель), минимальное число аллелей наблюдалось в локусе *Oki1b* (3 аллеля). Среднее число аллелей на локус составило 8,29. Показатель аллельного разнообразия (A_r) демонстрировал значительную вариативность, изменяясь от 2,9 в локусе *Oki1b* до 16,4 в локусе *Ots107*. Анализ показал, что многие локусы имеют низкую эффективную численность аллелей, которая варьирует в пределах 1,260 – 7,005, а значение средней (N_e) составляет 3,11. В среднем значение наблюдаемой гетерозиготности по всем исследованным микросателлитным локусам составило – 0,479. Наименьшее значение наблюдаемой гетерозиготности отмечено для *Ots107* (0,168), наибольшее для *Ots109* (0,799). В шести из семи исследованных локусов наблюдался дефицит гетерозигот (табл. 3). Результаты исследования индекса информационного полиморфизма (PIC) выявили значительные различия в информативности локусов. Согласно полученным данным, локус *Ots107* показал наименьшую информативность (0,187), а локус *Ots109* – наибольшую (0,875). Среднее значение PIC по всем исследованным локусам составило 0,517. Этот результат указывает на хорошую результативность отобранных микросателлитных маркеров для генетических исследований внутривидовой изменчивости.

Таблица 3
Характеристика микросателлитных локусов нерки (*Oncorhynchus nerka*) юго-восточного побережья Камчатки

Локус	Размер фрагмента, п. н.	A/A_r	N_e	H_e	H_o	F	PIC
<i>Ots107</i>	88–124	5/3,7	1,260	0,195	0,168	0,137	0,187
<i>Oki1a</i>	144–160	5/3,9	1,788	0,528	0,398	0,246	0,422
<i>Oki1b</i>	108–116	3/2,9	1,924	0,491	0,508	-0,034	0,395
<i>Ots109</i>	124–180	15/12,4	6,297	0,888	0,799	0,100	0,875
<i>OtsG68</i>	140–148	4/3,9	1,869	0,514	0,444	0,135	0,430
<i>Oki6</i>	76–92	5/4,1	1,713	0,504	0,321	0,363	0,443
<i>Ots104</i>	112–196	21/16,4	7,005	0,881	0,714	0,190	0,869
Среднее		8,29/6,7	3,112	0,571	0,479	0,162	0,517

Примечание. A – число аллелей в локусе; A_r – число аллелей в локусе, скорректированное на минимальный размер выборки; N_e – число эффективных аллелей; п. н. – пары нуклеотидов; H_e – средняя ожидаемая гетерозиготность; H_o – средняя наблюдаемая гетерозиготность; F – индекс фиксации; PIC (polymorphic information content) – индекс полиморфного информационного содержания изучаемых маркеров.

Результаты тестирования на неравновесие по сцеплению семи микросателлитных локусов (21 пара) представлены в таблице 4. В результате проведенного статистического анализа, неравновесие по сцеплению было выявлено только между локусами *Ots107* и *Oki1a* ($P < 0,001$).

Таблица 4

Анализ неравновесия по сцеплению микросателлитных локусов в популяциях нерки из водоемов юго-восточного побережья Камчатки

Пара локусов	<i>P</i>	Пара локусов	<i>P</i>		
<i>Ots107</i>	<i>Oki1a</i>	0,007*	<i>Oki1a</i>	<i>Oki6</i>	0,315
<i>Ots107</i>	<i>Oki1b</i>	0,798	<i>Oki1b</i>	<i>Oki6</i>	0,490
<i>Oki1a</i>	<i>Oki1b</i>	0,344	<i>One109</i>	<i>Oki6</i>	0,173
<i>Ots107</i>	<i>One109</i>	0,226	<i>OtsG68</i>	<i>Oki6</i>	0,926
<i>Oki1a</i>	<i>One109</i>	0,713	<i>Ots107</i>	<i>One104</i>	0,946
<i>Oki1b</i>	<i>One109</i>	0,094	<i>Oki1a</i>	<i>One104</i>	0,860
<i>Ots107</i>	<i>OtsG68</i>	0,689	<i>Oki1b</i>	<i>One104</i>	0,221
<i>Oki1a</i>	<i>OtsG68</i>	0,526	<i>One109</i>	<i>One104</i>	0,780
<i>Oki1b</i>	<i>OtsG68</i>	0,171	<i>OtsG68</i>	<i>One104</i>	0,551
<i>One109</i>	<i>OtsG68</i>	0,080	<i>Oki6</i>	<i>One104</i>	0,766
<i>Ots107</i>	<i>Oki6</i>	0,513			

Примечание. * $P < 0,001$

Результаты исследования на нейтральность семи микросателлитных локусов в четырех выборках нерки юго-восточного побережья Камчатки, выполненные на основе теста Эванса-Баттерсона, представлены в таблице 5. Проведенный анализ показал, что все локусы, за исключением *One109*, были нейтральны и не связаны с каким либо признаком. Наблюданная гомозиготность (Obs. *F*) для всех протестированных локусов находилась в пределах 95 % доверительного интервала.

Таблица 5

Результаты теста на нейтральность семи микросателлитных локусов в популяциях нерки юго-восточного побережья Камчатки

Локус	Obs. <i>F</i>	SE	U95	U95
<i>Ots107</i>	0,806	0,034	0,293	0,933
<i>Oki1a</i>	0,474	0,032	0,288	0,938
<i>Oki1b</i>	0,510	0,036	0,390	0,984
<i>One109</i>	0,115	0,008	0,131	0,483
<i>OtsG68</i>	0,488	0,035	0,333	0,962
<i>Oki6</i>	0,498	0,032	0,291	0,928
<i>One104</i>	0,121	0,005	0,098	0,366

Примечание. Obs. *F* – фактическая сумма квадратов частот аллелей, SE – стандартная ошибка среднего, L95 – нижняя граница доверительного интервала 95 %, U95 – верхняя граница доверительного интервала 95 %

Для определения степени подразделенности популяций нерки побережья юго-восточной Камчатки использовали коэффициенты *F*-статистики, предложенные С. Райтом [22, 23]. Значения коэффициентов инбридинга, рассчитанных для каждого из проанализированных локусов, представлены в табл. 6. Наибольшие значения коэффициента инбридинга особей в субпопуляциях (*Fis*) наблюдались в локусе *Oki6* (0,218). Для семи локусов величина коэффициента *Fis* варьировала от -0,090 (*Oki1b*) до 0,218 (*Oki6*) и в среднем составила 0,051. Положительное среднее значение *Fis* указывает на небольшой недостаток гетерозиготных генотипов (5 %) в исследованных популяциях. Коэффициент *Fit* также имеет положительное значение, в среднем составляет 0,161 и показывает 16 % дефицит гетерозигот в исследованных популяциях нерки из водоемов юго-восточной Камчатки в целом. Общая оценка дифференциации между исследуемыми выборками составила *Fst*= 0,118. Наибольший вклад в подразделенность вносят локусы *Oki1a* (0,216) и *Oki6* (0,182). Показатель интенсивности генных потоков (*Nm*) характеризуется величинами: от 0,910 (в локусе *Oki1a*) до 4,979 (в *Oki1b*) при среднем по всем локусам 2,510.

Таблица 6

Значения показателей F -статистик Райта для используемых в исследовании 7 микросателлитных локусов

Локус	F_{is}	F_{it}	F_{st}	N_m
<i>Ots107</i>	0,080	0,133	0,058	4,075
<i>Ok1a</i>	0,038	0,245	0,216	0,910
<i>Ok1b</i>	-0,090	-0,038	0,048	4,979
<i>One109</i>	0,015	0,097	0,083	2,770
<i>OtsG68</i>	0,004	0,142	0,139	1,552
<i>Ok1b</i>	0,218	0,360	0,182	1,126
<i>One104</i>	0,091	0,186	0,104	2,158
Среднее	0,051	0,161	0,118	2,510

Примечание. F_{is} – коэффициент инбридинга особей в субпопуляциях, F_{st} – коэффициент инбридинга субпопуляций относительно всей популяции, F_{it} – коэффициент инбридинга особей в популяции в целом; N_m – число мигрантов на поколение.

Результаты исследования аллельного и генетического разнообразия выборок нерки из популяций юго-восточного побережья Камчатки представлены в таблице 7. Можно отметить, что между выборками наблюдается существенная вариативность среднего числа аллелей. Минимальное значение среднего количества аллелей наблюдалось в выборке из р. Авача (4,857), максимальное в выборке р. Жупанова. Было установлено, что во всех исследованных популяциях довольно низкое эффективное число аллелей. Полученные значения индексов разнообразия Шеннона (табл. 7) показали, что популяции нерки из р. Авача и оз. Дальнее характеризуются низким уровнем генетического разнообразия (0,781 и 1,053, соответственно). Наибольшее значение индекса, свидетельствующее о более высокой степени генетической гетерогенности, было зарегистрировано для популяции р. Жупанова (1,188). Средние значения наблюдавшейся гетерозиготности находились в пределах 0,389–0,533, что намного ниже аналогичных показателей для выборок восточного побережья Камчатки (0,617) [24]. Самый низкий показатель наблюдавшейся гетерозиготности был отмечен для выборки нерки из р. Авача. В выборке из оз. Дальнее выявлена низкая наблюданная гетерозиготность, сопровождающаяся высоким положительным значением индекса фиксации F , что указывает на выраженный дефицит гетерозигот.

Таблица 7

Оценка аллельного и генетического разнообразия в популяциях нерки юго-восточного побережья Камчатки

Выборка	N	N_a	N_e	I	H_o	H_e	F
DALNY	47,857	6,000	2,764	1,053	0,466	0,506	0,101
AVACH	47,714	4,857	2,120	0,781	0,389	0,393	0,012
ASACH	45,857	6,000	3,675	1,183	0,533	0,563	0,038
ZHUPAN	46,429	7,143	3,931	1,208	0,530	0,550	0,051

Примечание. N – количество исследованных особей; N_a – среднее количество аллелей в выборке; N_e – среднее количество эффективных аллелей; I – индекс Шеннона; H_o – наблюданная гетерозиготность; H_e – ожидаемая гетерозиготность; F – индекс фиксации. Обозначения выборок приведены в табл. 1.

Анализ генетической изменчивости нерки по каждому локусу в четырех выборках показал (табл. 8), что практически все локусы (за исключением *Ots107* в выборке р. Авача) были полиморфными. Наиболее разнообразной по количеству аллелей оказалась выборка р. Жупанова (50 аллелей), в то время как в р. Авача наблюдалось минимальное количество аллелей (34). Общими для всех исследованных выборок были лишь 23 аллеля. Было обнаружено 10 уникальных аллелей: 7 из них

принадлежали выборке оз. Дальне, 1 – выборке р. Асача, и 2 – выборке р. Жупанова. Важно отметить, что в выборках оз. Дальне, р. Авача и р. Асача наблюдаемые распределения частот генотипов (в некоторых локусах) отличались от теоретических значений распределений по закону Харди-Вайнберга.

Таблица 8

Генетическая изменчивость нерки юго-восточного побережья Камчатки

Выборка	Показатель	Микросателлитные локусы						
		<i>Ots107</i>	<i>Oki1a</i>	<i>Oki1b</i>	<i>One109</i>	<i>OtsG68</i>	<i>Oki6</i>	<i>One104</i>
DALNY	<i>N_a</i>	3,000	4,000	3,000	9,000	4,000	5,000	14,000
	<i>N_e</i>	1,134	2,310	1,446	3,138	2,214	1,847	7,257
	<i>H_o</i>	0,083	0,563	0,292	0,702	0,563	0,354	0,708
	<i>H_e</i>	0,118	0,567	0,308	0,681	0,548	0,459	0,862
	<i>F</i>	0,295	0,008	0,054	-0,031	-0,026	0,228	0,178
	<i>HWE</i>	ns	ns	ns	ns	ns	*	**
AVACH	<i>N_a</i>	1,000	3,000	3,000	15,000	2,000	2,000	8,000
	<i>N_e</i>	1,000	1,269	2,009	5,340	1,358	1,843	2,019
	<i>H_o</i>	0,000	0,191	0,638	0,833	0,313	0,292	0,458
	<i>H_e</i>	0,000	0,212	0,502	0,813	0,264	0,457	0,505
	<i>F</i>	-	0,097	-0,271	-0,025	-0,185	0,362	0,092
	<i>HWE</i>	мономорфный	ns	ns	**	ns	*	**
ASACH	<i>N_a</i>	4,000	3,000	3,000	11,000	3,000	3,000	15,000
	<i>N_e</i>	1,529	1,962	2,219	7,219	1,974	1,440	9,384
	<i>H_o</i>	0,319	0,500	0,583	0,711	0,450	0,319	0,848
	<i>H_e</i>	0,346	0,490	0,549	0,861	0,493	0,306	0,893
	<i>F</i>	0,077	-0,020	-0,062	0,175	0,088	-0,044	0,051
	<i>HWE</i>	***	***	ns	*	ns	ns	ns
ZHUPAN	<i>N_a</i>	3,000	3,000	3,000	15,000	3,000	4,000	19,000
	<i>N_e</i>	1,378	1,613	2,024	9,490	1,929	1,722	9,360
	<i>H_o</i>	0,277	0,333	0,521	0,955	0,455	0,319	0,851
	<i>H_e</i>	0,274	0,380	0,506	0,895	0,482	0,419	0,893
	<i>F</i>	-0,009	0,123	-0,030	-0,067	0,056	0,239	0,047
	<i>HWE</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Примечание. N_a – количество аллелей; N_e – количество эффективных аллелей; H_o – наблюданная гетерозиготность; H_e – ожидаемая гетерозиготность; F – коэффициент инбридинга; *HWE* – соответствие равновесию Харди–Вайнберга ($*P < 0,05$; $**P < 0,01$; $***P < 0,001$). Обозначения выборок приведены в табл. 1.

Оценки генетических расстояний Нея между выборками нерки юго-восточного побережья Камчатки (табл. 9) варьировали от 0,1 (между выборками реки Жупанова и оз. Дальним) до 0,293 (между выборками р. Жупанова и р. Авача). Попарные оценки генетической дифференциации (F_{st}), рассчитанные для всех возможных комбинаций выборок, находились в диапазоне от 0,058 до 0,239 (табл. 8). Важно отметить, что все попарные сравнения выборок показали статистически значимые различия.

Таблица 9

Значения попарных межвыборочных F_{st} (под диагональю) и дистанции Нея (над диагональю) при сравнении выборок нерки из популяций юго-восточного побережья Камчатки

Выборка	DALNY	AVACH	ASACH	ZHUPAN
DALNY	0,000	0,229	0,139	0,100
AVACH	0,209	0,000	0,278	0,293
ASACH	0,079	0,178	0,000	0,123
ZHUPAN	0,080	0,239	0,058	0,000

Примечание. Выборки обозначены в соответствии с табл. 1

Для изучения генетической структуры нерки юго-восточной Камчатки мы использовали байесовский анализ в программе *Structure*. Были протестированы варианты моделей кластеризации при K (вероятное число самостоятельных групп) от 1 до 4 (рис. 2). При простейшей модели кластеризации, когда мы предполагали наличие двух групп ($K=2$), выборка из р. Авача выделилась как самостоятельная. При увеличении числа предполагаемых групп до трех ($K=3$), выборка из оз. Дальне образует отдельный кластер. Когда мы рассмотрели вариант с четырьмя группами ($K=4$), каждая из исследованных выборок сформировала свой уникальный, генетически обособленный кластер. Для определения наиболее вероятного количества кластеров мы применили метод Пюхмайля [21]. Этот метод позволил нам установить, что наиболее вероятное число генетических групп будет соответствовать четырем ($K=4$) (рис. 3).

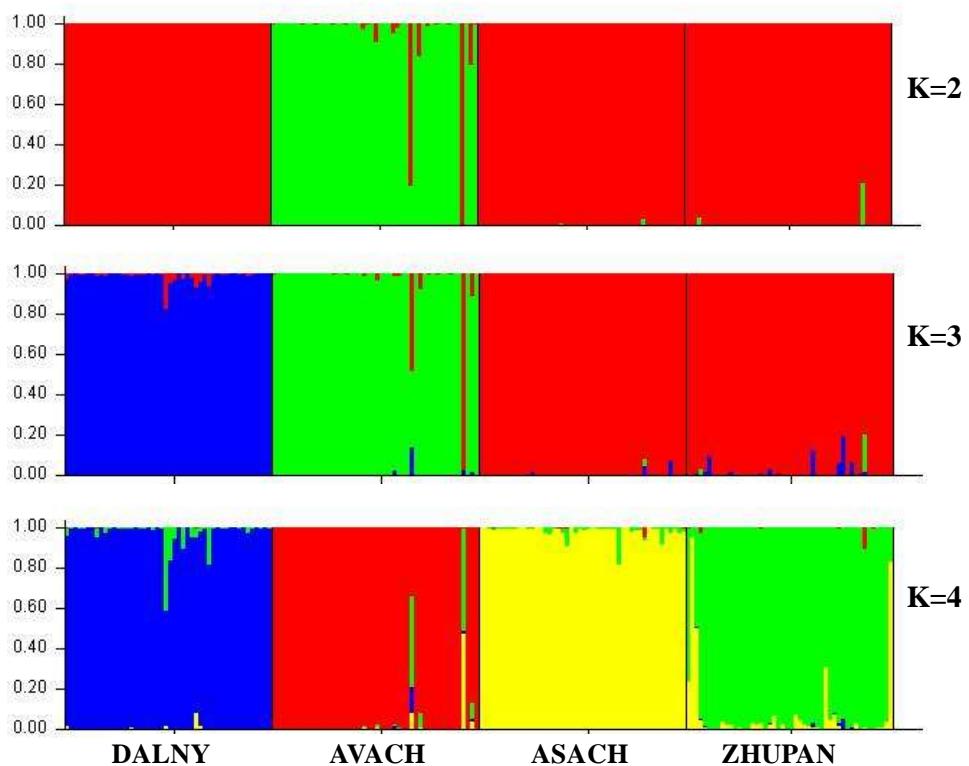


Рис. 2. Графическое представление результатов байесовского анализа четырех выборок нерки юго-восточного побережья Камчатки, выполненного в программе STRUCTURE. К – предполагаемое количество генетических кластеров. Вероятности принадлежности образцов к каждому из кластеров отмечены на оси ординат. Обозначения выборок приведены в табл. 1

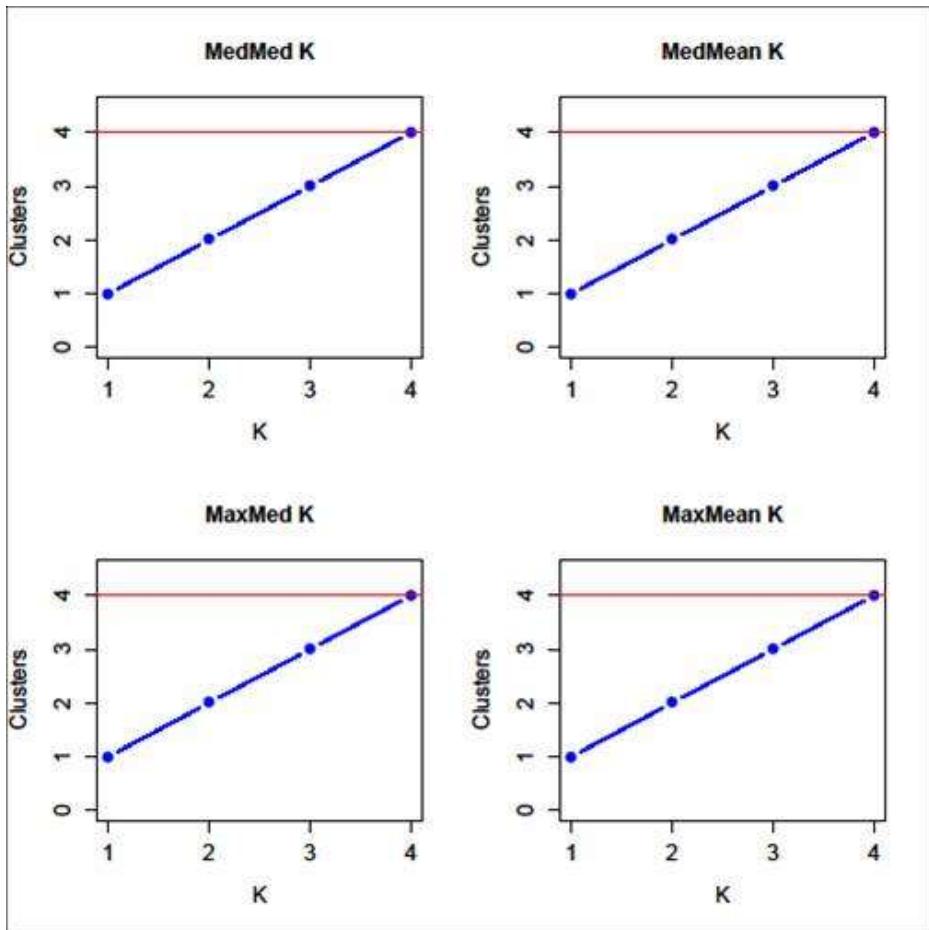


Рис. 3. Оценки количества генетически различающихся групп нерки на юго-восточном побережье Камчатки на основании ΔK по методу Пюхмайля [21]

Заключение

В ходе исследования было установлено, что выбранные для исследования нерки юго-восточного побережья Камчатки микросателлитные локусы *Oki1a*, *Oki1b*, *Oki6*, *Ots107*, *OtsG68*, *One104*, *One109* демонстрируют среднее значение показателя информационного полиморфизма (*PIC*) на уровне 0,517. Они результативно выявляют генетические различия между популяциями и таким образом являются ценным и эффективным инструментом для популяционно-генетического анализа.

Анализ выборок из р. Авача и оз. Дальне показал, что генетическое разнообразие в данных локальностях существенно ниже, чем в других популяциях восточного побережья Камчатки. В выборке из р. Авача наблюдалось отсутствие полиморфизма по локусу *Ots107*. Можно предположить, что низкие показатели генетического разнообразия нерки в данных популяциях, скорее всего обусловлены браконьерством и избыточной промысловой нагрузкой [25].

Проведенное исследование микросателлитных локусов нерки из водоемов юго-восточного побережья Камчатки показало, что каждая из изученных популяций обладает уникальными генетическими характеристиками. Генетические различия между выборками, оцененные с помощью показателя F_{st} , были достоверны, отличия между выборками наблюдались при всех попарных сравнениях. Общая оценка дифференциации между исследуемыми выборками составила $F_{st} = 0,118$. Наибольший вклад в подразделенность вносят локусы *Oki1a* (0,216) и *Oki6* (0,182). Результаты исследования на основе байесовской кластеризации выборок в программном пакете *Structure* показали, что каждая из исследованных популяций образует отдельный кластер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов, С. М. Популяционная биология тихоокеанских лососей. – Москва : Наука, 1980. – 238 с.
2. Варнавская, Н. В. Генетическая дифференциация популяций тихоокеанских лососей. – Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2006. – 488 с.
3. Пильгандук, О. А. Генетическая структура нерки, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), полуострова Камчатка : дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 2015. – 135 с.
4. Хрусталева, А. М., Кловач, Н. В., Сиб, Д. Е. Генетическое разнообразие и популяционная структура нерки азиатского побережья Тихого океана // Генетика. – 2017. – Т. 53. – № 10. – С. 1196–1207.
5. Хрусталева, А. М. Региональные комплексы нерки *Oncorhynchus nerka* (Salmonidae) восточного побережья Камчатки и Чукотки: разграничение, генетическое разнообразие, происхождение, адаптивные и демографические процессы // Вопросы ихтиологии. – 2024. – Т. 64. – № 5. – С. 592–609.
6. Маниатис, Т., Фрич, Э., Сэмбрук, Дж. Молекулярное клонирование. – Москва : Мир, 1984. – 479 с.
7. Nelson, R. J., Beacham, T. D. Isolation cross species amplification of microsatellite loci useful for study of Pacific salmon // Animal Genetics. – 1999. – Vol. 30. – Pp. 228–229.
8. Smith, C. T., Koop, B. F., Nelson, R. J. Isolation and characterization of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) microsatellites and their use in other salmonids // Mol. Ecol. – 1998. – Vol. 7. – Pp. 1613–1621.
9. Characterization of 14 tetranucleotide microsatellite loci derived from sockeye salmon / J. B. Olsen, S. L. Wilson, E. J. Kretschmer et al. // Mol. Ecol. – 2000. – Vol. 9. – P. 2185–2187.
10. Williamson, K. S., Cordes, J. F., May, B. Characterization of microsatellite loci in Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and cross-species amplification in other salmonids // Mol. Ecol. Notes. – 2002. – Vol. 2. – Pp. 17–19.
11. Peakall, R., Smouse, P. E. GENALEX 6: Genetic analysis in excel. population genetic software for teaching and research // Mol. Ecol. – 2006. – Vol. 6. – Pp. 288–295.
12. Goudet, J., Heredity, J. FSTAT (version 1.2): a computer program to calculate *F*-statistics. – 1995. – Vol. 86. – Pp. 485–486.
13. Nei, M. Molecular evolutionary genetics. – New York : Columbia Univ. press, 1987. – 512 p.
14. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms / D. Botstein, R. L. White, M. H. Skolnick, R. W. Davis // Am. J. Hum. Genet. – 1980. – Vol. 32. – Pp. 314–331.
15. Manly, B. F. J. Tests of the theory of natural selection: an overview // Journal of the Royal Society of New Zealand. – 1985. – Vol. 15. – № 4. – Pp. 411–432.
16. POPGENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis / F. C. Yeh, R-C. Yang, T. B. J. et al. – URL: <https://sites.ualberta.ca/~fyeh/popgene.html>
17. Rousset, F. Genepop'007: A complete re-implementation of the Genepop software for Windows and Linux // Molecular Ecology <https://sites.ualberta.ca/~fyeh/popgene.html> Resources. – 2008. – Vol. 8. – Pp. 103–106.
18. Excoffier, L., Lischer, H.E.L. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows // Mol. Ecol. Res. – 2010. – Vol. 10. – Pp. 564–567.
19. Pritchard, J. K., Stefens, M., Donnelly, P. Inference of population structure using multilocus genotype data // Genetics. – 2000. – Vol. 155. – Pp. 945–959.
20. Li, Y. L., Liu, J. X. StructureSelector: a web based software to select and visualize the optimal number of clusters using multiple methods // Mol. Ecol. Res. – 2018. – Vol. 18. – Pp. 176–177.
21. Puechmaille, S. J. The program structure does not reliably recover the correct population structure when sampling is uneven: subsampling and newestimators alleviate the problem. Mol. Ecol. Res. – 2016. – Vol. 16. – Pp. 608–627.
22. Wright, S. The interpretation of population structure by *F*- statistics with special regard to systems of mating // Evolution. – 1965. – Vol. 19. – Pp. 355–420.

23. Guries, R. P. Ledig, F. T. Gene diversity and population structure in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.) // Evolution. – 1982. – Vol. 36. – P. 387–402.
24. Изменчивость микросателлитных локусов нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) восточного побережья Камчатки / О. А. Пильгандчук, Н. Ю. Шпигальская, В. В. Савенков и др. // Биология моря. – 2013. – Т. 39. – № 4. – С. 272–280.
25. Запорожец, Г. В., Запорожец, О. М. Динамика запасов тихоокеанских лососей в бассейнах рек Авачинского залива (Восточная Камчатка) в конце XX – начале XXI вв. // Известия ТИНРО. – 2011. – Т. 166. – С. 3–38.

VARIABILITY OF MICROSATELLITE LOCI IN SOCKEYE SALMON (*ONCORHYNCHUS NERKA*) FROM THE SOUTHEASTERN COAST OF KAMCHATKA

¹Oksana Alexandrovna Pilganchuk, Ph.D. (Biology), Head of Molecular Genetics Laboratory

²Maria Valeryevna Krupeneva, specialist of Molecular Genetics Laboratory

³Vladimir Vladimirovich Savenkov, leading specialist of Molecular Genetics Laboratory

^{1,2,3}Kamchatka branch of Russian Research Institute
of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO),
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ¹o.pilganchuk@kamniro.vniro.ru

Abstract. Allele variability of seven microsatellite loci (*Oki1a*, *Oki1b*, *Oki6*, *Ots107*, *OtsG68*, *One104*, *One109*) was examined in four populations of sockeye salmon in the southeastern coast of Kamchatka. All loci except *Ots107* (in sample from Avacha River) were polymorphic, and the estimates of observed heterozygosity ranged from 0,168 to 0,799. The total estimate for differentiation between examined samples (*Fst*) was 0,118. The maximum contribution into the difference was provided by the loci *Oki1a* (0,216) and *Oki6* (0,182). The values of the pairwise estimates of genetic differentiation *Fst* demonstrated authentic differences between all samples.

Keywords: genetic structure, population genetics, sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*), microsatellite loci

ПСИХРОФИЛЬНЫЕ АММОНИЙНЫЕ И НИТРИТРАЗЛАГАЮЩИЕ БАКТЕРИИ, УЛУЧШАЮЩИЕ УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

¹Решетникова Ольга Васильевна, канд. биол. наук, доцент, зав. кафедрой

²Сбойчаков Виктор Борисович, профессор, д-р мед. наук

^{1,2}Лужский институт (филиал)

ГАОУ ВО ЛО «Ленинградский государственный университет имени А. С. Пушкина»,
Луга, Россия, e-mail: ¹olga.resh56@yandex.ru, ²sboich.viktor@yandex.ru

Аннотация. Аквакультура в нашей стране – одно из приоритетных направлений развития агропромышленного комплекса. Цель – выделение и идентификация бактериальных штаммов с оптимальным ростом при +15 °C и способностью к удалению аммония и нитрита. Был создан микробиологический комплекс для установок замкнутого водоснабжения на основе адаптированных гетеротрофных аммонийных и нитритразлагающих бактерий. Тесты показали способность бактерий данного комплекса в условиях низких температур удалять азот и нитриты из водной среды выращивания форели. Было установлено, что форель, на которой применялся комплекс ГАН, претерпевает увеличение выживаемости и набранного веса, в сравнении с контрольной группой.

Ключевые слова: аквакультура, форель, бактерии, аммонийные, нитритразлагающие

Использование внутренних водных ресурсов для выращивания индустриальным методом аквакультуры является интенсивно развивающейся отраслью рыбной промышленности. Однако ограниченный источник пресной воды в местах разведения форели влияет на объемы производимой продукции [1, 2]. Индустриальное разведение радужной форели с использованием установок замкнутого водоснабжения (УЗВ) позволяет получать посадочный материал в течение года, с учетом востребованности в икре, личинках и мальках [1-3]. Использование УЗВ позволяет строить фермы в регионе, где источники энергии, корма или кислорода являются недорогими и воздействие на окружающую среду минимально. Однако существует дефицит водных ресурсов, вблизи основного рынка сбыта. С ужесточением требований к экологическим показателям и уменьшения количества грунтовых вод в большинстве районов, УЗВ являются предпочтительными системами для использования в производстве новых или модернизированных лососевых инкубаторов.

Использование установок замкнутого водоснабжения позволяет многократно использовать воду с предварительным очищением биофильтрами (рис. 1), их функция заключается в очистке системы от вредных для аквакультуры веществ.



Рис. 1. Загрузка для биофильтра (фото автора)

В этих системах биофильтры на основе микроорганизмов преобразуют вредные компоненты, такие как аммоний, в нитриты и нитраты. Разложение органического вещества и амиака является биологическим процессом, осуществляющимся бактериями в биофильтре. Гетеротрофные бактерии, потребляя кислород, окисляют органическое вещество до углекислого газа, амиака и шлама. Нитрифицирующие бактерии преобразуют амиак в нитрит, а затем в нитрат. Эффективность биофильтрации зависит от температуры воды, уровня pH в системе. Автотрофное удаление аммония и нитрита происходит быстрее в присутствии гетеротрофных штаммов. Аэробные гетеротрофные микроорганизмы, используемые в биофильтрах, развиваются при температуре 28 °C, которая является для них оптимальной. Поэтому поиск микробиоты, приспособленной к низким температурам является актуальной в форелеводстве.

Радужная форель (*Oncorhynchus mykiss*) – относится к холодноводным видам рыб, широко распространённых во всем мире, в том числе и в нашей стране. Оптимальная температура для выращивания радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) +15 °C [2, 4-7]. Экологическими стрессорами при содержании форели являются, содержащиеся в воде выше допустимых норм, амиак и нитриты, которые угнетают иммунную систему рыб, что в свою очередь приводит к развитию инфекционных заболеваний и снижению продуктивности [8, 9]. Форель, как правило, выращивается в бассейнах или прудах, снабженных проточной водой, но некоторые из них производятся в садках и системах замкнутого водоснабжения (УЗВ) [5, 10]. Однако в такой воде содержится высокий уровень аммония, что является собой препятствие для повторного разведения в ней рыбы [4].

В обратной воде для аквакультуры для уменьшения или устранения нежелательного азота, используется нитрификация. Нитрификацию могут осуществлять автотрофные и гетеротрофные бактерии [11-13], а также их комплекс. Было выявлено, что гетеротрофные штаммы эффективнее удаляют аммоний и нитрит.

Биофильтры на основе микроорганизмов преобразуют вредные компоненты, такие как аммоний, в нитриты и нитраты. Подходящая температура роста для большинства аэробных гетеротрофных бактерий, используемых в биофильтрах, составляет 28 °C, в то время как оптимальная температура для выращивания форели составляет около +15 °C [1, 2, 6]. Поэтому существует проблема поиска микроорганизмов, способных расти и эффективно удалять аммоний при более низких температурах, оптимальной для форели.

Цель исследования: поиск гетеротрофных бактерий, которые разлагают аммоний и нитрит при более низких температурах. Главной задачей стало применение таких бактерий в системах культивирования радужной форели, работающих при температуре +15 °C (оптимальная температура для выращивания радужной форели *Oncorhynchus mykiss*), с целью улучшения экологических условий в системе рециркуляции радужной форели и получения более высокого прироста продуктивности [7, 8].

Штаммы, проявившие наилучший рост с точки зрения поглощения аммония или нитрита были идентифицированы с помощью 16S рРНК- секвенирования. *Dyadobacter* sp. (№ 68) и *Janthinobacterium* sp. (№ 100) образцы были выбраны для оптимальной адаптации к росту при +15 °C и наилучшего удаления аммония, и нитритов из среды.

Для того чтобы выделить бактерии, которые могут активно расти при низкой температуре и эффективно удалять аммоний и нитрит, были взяты пробы воды из трех различных источников в п. Ропша Ленинградской области. Пресноводные источники включают реку (Р), а также естественное (ЕО) и искусственное озеро (ИО). После отбора проб воды из различных мест были измерены показатели качества воды во всех отобранных пробах. Результаты показали, что различные источники воды имеют различную концентрацию аммония, нитрита и нитрата (табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества воды в отобранных пробах из различных источников водоснабжения (составлено автором)

Показатели	Источник воды		
	Река	Искусственное озеро	Естественное озеро
pH	8,8 ± 1,8	13,2 ± 2,1	12,5
Температура °C	4	4°	4
NH ₄ -N (мг/л) ⁻¹	0,135	0,051	0,006
NO ₂ -N (мг/л) ⁻¹	0,026	0,024	0,025
NO ₃ -N (мг/л) ⁻¹	0,079	0,352	0,053

Среди всех образцов вода ЕО содержала самую низкую концентрацию аммония ($0,006 \text{ мг/л}^{-1}$), низкую - Р ($0,135 \text{ мг/л}^{-1}$). Нитрит - это самая эфемерная форма азота, которая быстро превращается в другие продукты. Концентрации нитритов были одинаковыми во всех образцах.

Для поиска решения проблемы накопления нежелательных аммония и нитрита в системе аквакультуры были выделены и идентифицированы бактериальные штаммы с оптимальным ростом при 15°C и способностью к удалению аммония и нитрита. Среди отобранных средовых штаммов, обладающих способностью к удалению аммония ($17,12\text{--}24,75\%$ удаления $\text{NH}_4\text{-N}$), образцы № 2 (ЕО), 6 (ИО), 62 (Р), 68 (ЕО) и 117 (Р) обладали превосходными ростовыми характеристиками. Штамм № 68 был признан лучшим кандидатом с точки зрения роста и активности удаления аммония. Интересно, что штамм № 68 был выделен из водного источника, собранного в районе с наименьшей концентрацией аммония. Поскольку использование нового штамма в системе аквакультуры ограничено и следует избегать штаммов, которые могут заразить рыбу, отобранные штаммы необходимо идентифицировать до начала применения. Среди выделенных гетеротрофных аммонийразлагающих бактерий штаммы № 2, 6, 62, 68 и 117 были идентифицированы с помощью 16S rPHK-секвенирования. На рисунке 2 показано филогенетическое древо различных гетеротрофных аммонийразлагающих видов, выделенных в данном исследовании.

В филогенетическом древе выявлены наиболее близкородственные родственники выделенных аммонийразлагающих штаммов. Наиболее продуктивным штаммом является *Dyadobacter hamensis* (NR 042226.1) № 68, клетки которого агрегируются в цепи для образования биофлоков в биофильтрах и тем самым пригодны для очистки сточных вод аквакультуры. Штамм *Dyadobacter* sp. (№ 68) не является патогенным и, исходя из профиля роста и активности удаления аммония, был выбран в качестве наилучшего кандидата для дальнейшего исследования [12].

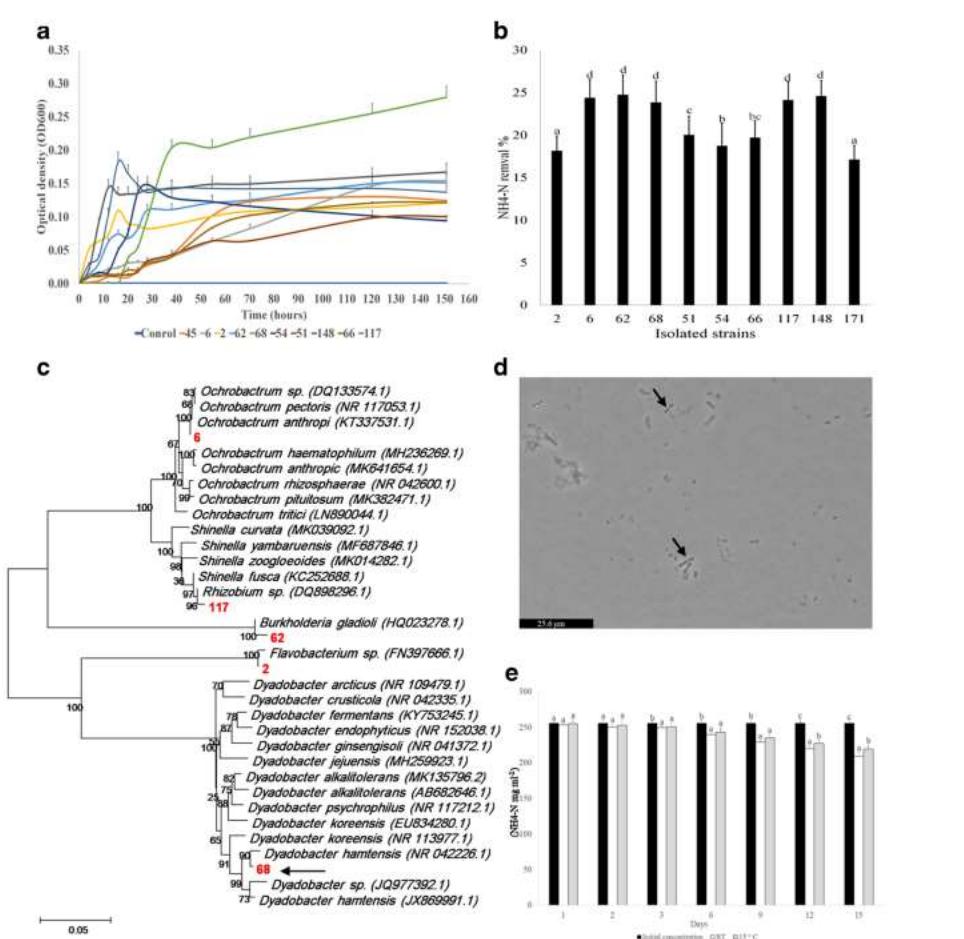


Рис. 2. Скорость роста, филогенетическое древо и микрокопирование гетеротрофных аммонийразлагающих бактерий: А – скорость роста выделенного гетеротрофного бактерии разлагающих аммоний, в течение 10 дней. В – разложение аммония бактериями после 10 дней наблюдения. С – филогенетическое древо аммонийразлагающих бактерий, выделенных в ходе настоящего исследования. Д – микроскопирование *Dyadobacter* sp. Е – активность удаления аммония *Dyadobacter* sp. при различных температурах

Все выделенные штаммы при помещении в среду проявляли некоторую способность к удалению нитрита, причем их активность колебалась от 10,57 до 49,37 % удаленного из среды нитрита за 10 дней. Среди отобранных экологических штаммов № 100 показал лучший рост и самую высокую активность удаления нитритов.

Группа лучших исполнителей, среди гетеротрофных нитритразлагающих бактерий, штаммы № 3 (Р), 9 (ИО), 16 (Р), 84 (ИО), 100 (Р) и 154 (ЕО) были идентифицированы с помощью секвенирования 16S rPHK (рис. 3). Штаммы 84, 100, 154, близки к роду *Janthinobacterium*, что дает возможность считать взаимосвязь между эффективностью рода к удалению нитрита.

Непатогенная *Janthinobacterium svalbardensis* (KR 085903.1) имеет сходство со штаммом № 100. Имеются данные о том, что некоторые представители рода *Janthinobacterium* присутствуют в речной воде, они считаются основной группой кишечной микробиоты рыб [8, 9]. Поэтому этот штамм был выбран в качестве эффективного нитрификатора, который восстанавливает нитрит до оксида азота с помощью белков нитритредуктазы [13].

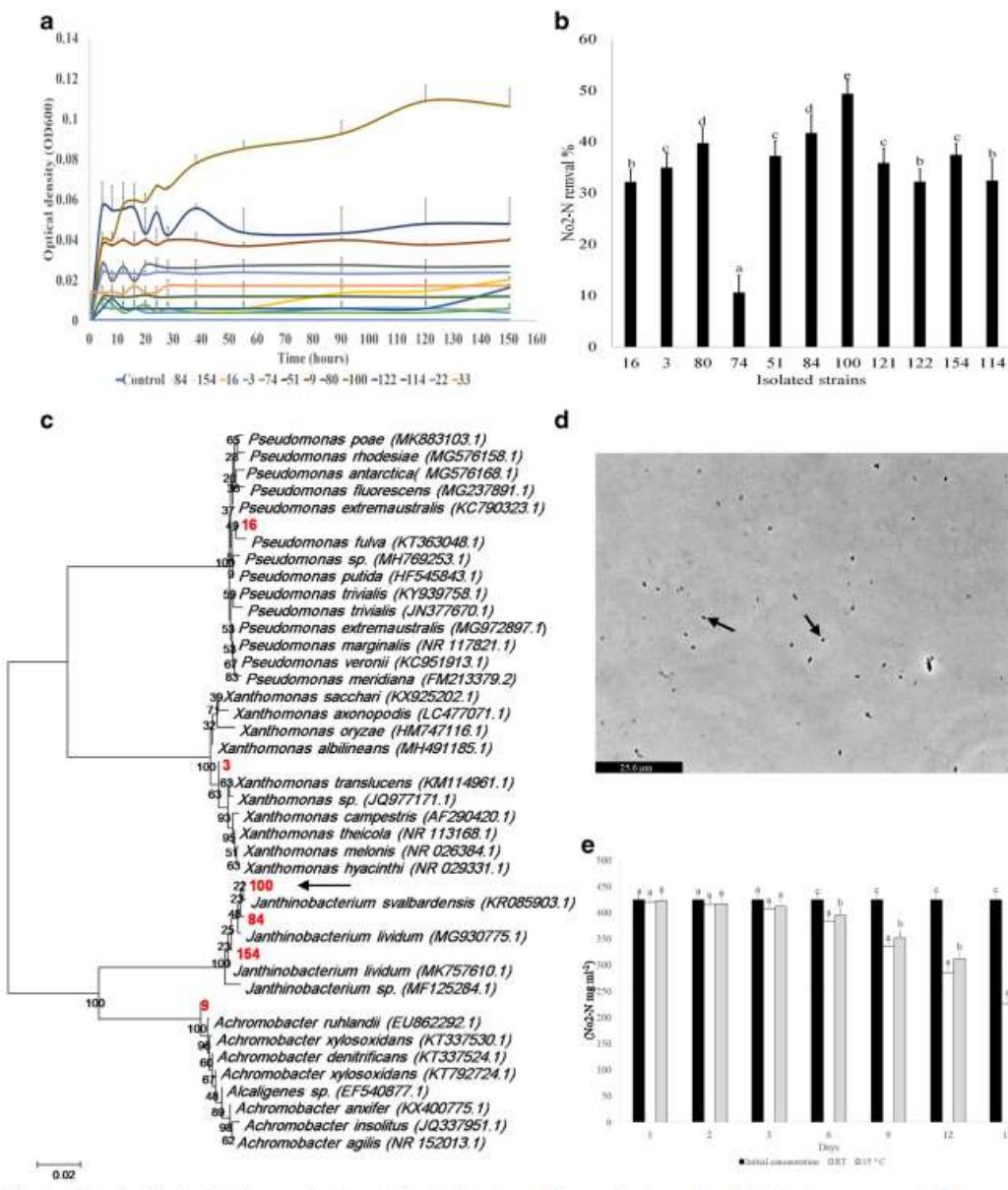


Рис. 3. Скорость роста, филогенетическое древо

и микропирамиды гетеротрофных нитритоглащающих видов:

A – скорость роста выделенного гетеротрофного бактерии разлагающих нитрит, в течение 10 дней. **B** – удаление нитрита бактериями после 10 дней наблюдения.

C – филогенетическое древо нитритразлагающих бактерий, выделенных в ходе настоящего исследования.

D – микроскопирование *Janthinobacterium* sp..

E – активность удаления нитрита *Janthinobacterium* sp. при различных температурах

Адаптация Dyadobacter sp. и Janthinobacterium sp. до 15 °C. Различные штаммы бактерий обладают разной способностью адаптироваться и осуществлять определенные метаболические процессы при низких температурах. Активность штаммов *Dyadobacter* sp. и *Janthinobacterium* sp. при низкой температуре удаления аммония была изучена при их выращивании при комнатной температуре, +22,3±2,8, +15 °C.

Штамм *Dyadobacter* sp. активен при более низких температурах (15 °C), процесс удаления аммония начался примерно на 6-й день и постепенно продолжался до 15-го дня, штамм *Janthinobacterium* sp., активность удаления нитрита и РТ, начиная с 3-го дня. С 3-го по 9-й день достоверной разницы в удалении нитритов между РТ и 15 °C. На 12-е и 15-е сутки наибольшая активность удаления нитритов составила 11,6 и 13,25 мг/л⁻¹ сутки наблюдались в образцах РТ, соответственно. Это исследование показало, что *Janthinobacterium* sp. удалось провести эффективное удаление нитрита как при РТ, так и при 15 °C и представляет собой хороший кандидат для внедрения в системах выращивания форели.

Уровень аммония и нитрита в культуре радужной форели был снижен в присутствии *Dyadobacter* sp. и *Janthinobacterium* sp. Определение аммонийной и нитритной активности выделенных холодаадаптированных бактерий в культуре форели, в свежих колониях *Dyadobacter* sp. (№ 68) и *Janthinobacterium* sp. (№ 100) были использованы с целью культивирования на средах АОБ и НОБ в течении двух недель. Культуры *Dyadobacter* sp. (№ 68) и *Janthinobacterium* sp. (№ 100) были применены к системе разведения форели как смешанная культура, соотношение 2,5:1. Через 9 суток исследовали активность удаления неионизированного аммиака и нитритов из смешанной культуры.

Как и ожидалось, полученные результаты показали, что концентрация неионизированного аммиака в необработанной негативной контрольной группе была выше рекомендуемых пределов для выращивания форели. Уровень неионизированного аммиака в группе гетеротрофных микроорганизмов ($8,8 \pm 1,8$ мкг/л¹) был достоверно ниже по сравнению с контролем ($13,2 \pm 2,1$). Это указывало на то, что *Dyadobacter* sp. был функционален при удалении неионизированного аммиака в системе аквакультуры и способен создавать неионизированные уровни аммиака по рекомендованным пределам для форели.

Таким образом, можно сделать вывод, что комбинированное применение *Dyadobacter* sp. и *Janthinobacterium* sp. может быть рекомендовано для систем выращивания радужной форели, так как это приводит к значительному улучшению условий ведения аквакультуры. Продолжение исследований рекомендуется проводить с использованием более высокой плотности рыб, а также путем проведения дальнейшего анализа, например, дополнительных индексов роста рыб (SGR, FCR) и анализа окислительного стресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решетникова, О. В. Особенности выращивания радужной форели в Ленинградской области // В Балтийский морской форум, всероссийская научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». Секция аквакультура. – Калининград : Издательство БГАРФ, 2017. – С. 139–140.
2. Решетникова, О. В., Новосад, С. Е. Технологические особенности выращивания радужной форели в Ленинградской области // Материалы международной научной конференции V Лужские научные чтения. «Современное научное знание: теория и практика». 22 мая 2017 г. – Санкт-Петербург : ЛГУ им. А. С. Пушкина, 2017. – С. 30–33.
3. Бутусова, Е. Н. Выращивание рыбы в замкнутых системах с очисткой воды погружными биофильтрами // Рыбное хозяйство. – 1985. – Вып. 5. – С. 13.
4. Вавилкин, А. С., Иванов, А. П., Куранова, И. И. – Основы ихтиологии и рыбоводства. – Москва : Пищевая промышленность, 1974. – 168 с.
5. Мухачев, И. С. Озёрное товарное рыболовство. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 400 с.
6. Овчиникова, С. И., Михнюк, О. В., Тимакова, Л. И. Морфологические исследования радужной форели морской и пресноводной, культивируемой в условиях искусственного воспроизводства. – Биологический факультет МГТУ, кафедра биохимии. // Вестник МГТУ. – 2004. – 508 с.
7. Романова, Н., Головина, Н., Головин, П. Основные заболевания лососевых рыб в пресноводной аквакультуре России // Рыба. – 2019. – № 1. – С. 56–59.

8. Рыжков, Л. П., Кучко, Т. Ю., Дзюбук, И. М. Основы рыбоводства. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 560 с.
9. Сбойчаков, В. Б., Решетникова, О. В., Панин, А. Л., Краева, Л. А. Роль иерсиний в патологии холоднокровных животных и человека // Ветеринарная лабораторная практика : сборник статей и докладов на международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 17–21 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 2023. – С. 16–19.
10. Серпунин, Г. Г. Искусственное воспроизведение рыб. – Москва : Колос, 201. – 256 с.
11. Хорольская, Е. И., Скорбач, В. В. Перспективы использования бактерий рода *Janthinobacterium* // Innovations in life sciences : сборник материалов V Международного симпозиума, Белгород, 24–26 мая 2023 года. – Белгород : Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 234–235.
12. Kim, K. R., Kim, J. M., Lee, Ja. K. [et al.] Dyadobacter pollutisoli sp. nov., isolated from plastic waste landfill soil // International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. – 2023. – Vol. 73. – № 4. – DOI 10.1099/ijsem.0.005778.
13. Lee, Yu. J., Lee, Ja. Ch., Moon, K. [et al.] Draft Genome Sequences of Three *Janthinobacterium lividum* Strains Producing Violacein // Microbiology and Biotechnology Letters. – 2024. – Vol. 52. – № 2. – P. 215–217. – DOI 10.48022/mbl.2311.11011.

PSYCHROPHILIC AMMONIUM AND NITRITE-DECOMPOSING BACTERIA THAT IMPROVE THE GROWING CONDITIONS OF RAINBOW TROUT

¹Reshetnikova Olga Vasilievna, Ph.D., Associate Professor

²Sboychakov Viktor Borisovich, Professor

^{1,2}Head. Department, Luga Institute (branch) State Autonomous Educational Institution of Higher Education of the Leningrad Region "Leningrad State University named after A.S. Pushkin", Luga, Russian Federation,
e-mail: ¹olga.resh56@yandex.ru, ²sboich.viktor@yandex.ru

Abstract. Aquaculture in our country is one of the priority areas for the development of the agro-industrial complex. The aim of the work: to isolate and identify bacterial strains with optimal growth at 15 °C and the ability to remove ammonium and nitrite. A microbiological complex was created for closed water supply systems based on adapted heterotrophic ammonium and nitrite-decomposing bacteria. Tests have shown the ability of bacteria in this complex to remove nitrogen and nitrites from the aquatic environment of trout farming under low temperature conditions. It was found that trout treated with the GAN complex experienced increased survival and weight gain compared to the control group.

Keywords: aquaculture, trout, bacteria, ammonium, nitrite-decomposing

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КИЖУЧА РЕК КЛЮЧЕВКА И КОЛОКОЛЬНИКОВА ПОЛУОСТРОВА КАМЧАТКА

¹Горячев Степан Владимирович, аспирант

²Литвиненко Анна Владимировна, канд. биол. наук, доцент

³Данилин Дмитрий Диомидович, канд. биол. наук

²Карпенко Ирина Владимировна, младший научный сотрудник

¹Воитков Анатолий Дмитриевич, аспирант

⁴Боровкова Александра Дмитриевна, аспирант

⁴Донец Максим Михайлович, аспирант

⁴Беланов Максим Андреевич, аспирант

⁴Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник

¹Институт морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН,

Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: ¹stepkagoryachev@yandex.ru

^{1,2,4}Сахалинский государственный университет (СахГУ),

Южно-Сахалинск, Россия, e-mail: ²litvinenko.av@bk.ru

³Камчатский филиал тихоокеанского института географии (КамТИГ) ДВО РАН,

Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: ³danielinbiv@mail.ru

⁴Тихоокеанский институт географии (ТИГ) ДВО РАН,

г. Владивосток, Россия, e-mail: ⁴tsig_90@mail.ru

Аннотация. Проведён сравнительный анализ концентраций микроэлементов Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cd и Pb в представителях кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792), зашедшего в реки Ключевка и Колокольникова (западное и восточное побережья п-ова Камчатка) в сентябре и январе 2023 г. соответственно. Выявлено, что западно-камчатские образцы содержат в своих органах и тканях более высокие концентрации Ni и Pb, в то время как восточно-камчатские особи обладают большим содержанием Fe, Zn, Cu и токсичного Cd.

Ключевые слова: кижуч (*O. kisutch*), микроэлементы, западное и восточное побережья п-ова Камчатка, Курильские острова, Командорская котловина

К числу тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus* с коротким пресноводным периодом относят горбушу и кету, к лососям с длительным пресноводным периодом – нерку, симу, кижуча и чавычу. Последние четыре вида после выхода из нерестовых гнезд проводят в водоемах и водотоках перед скатом в море от одного до нескольких лет, в некоторых случаях оставаясь в пресной воде всю жизнь (самцы симы).

Кижуч – компонент ихтиофауны водных объектов материкового побережья Охотского моря, его основные запасы сконцентрированы в центральной части региона. Большая часть рыб в процессе онтогенеза реализует проходную жизненную стратегию. Темпоральная структура проходного кижуча представлена двумя формами: ранней и поздней. Их проход на нерест прослеживается по изменению качественных показателей рыб. В период нереста кижуч ранней и поздней форм занимает нерестилища, различающиеся гидрологическим и термическим режимами. После подъема на плав молодь кижуча живет в пресных водах от 1 до 3 лет. Морской период жизни продолжается обычно 1 год, реже рыбы возвращаются на нерест в год ската или после двух зимовок в море. Изменчивость качественных показателей кижуча и его численности, главным образом, связана с условиями воспроизводства и нагула. Определенный вклад в изменчивость размерно-возрастных показателей вносит эпигенетическая компонента, обусловленная реализацией кижучем в онтогенезе той или иной жизненной стратегии [1].

В реки кижуч заходит как серебристым, так и в брачном наряде. В значительных пределах изменяется в это время у него и зрелость половых продуктов. Менее зрелые рыбы более раннего

хода поднимаются на отдаленные вверх по течению нерестилища. Последними заходят более зрелые особи, которые размножаются недалеко от устьев [2]. Это правило распространяется на все районы размножения. Но в реках, где обитают обе формы, такая дифференциация нерестилищ связана и с разобщенностью мест размножения этих форм: летняя – в притоках и верховьях, осенняя – в основном русле. Особи обеих форм, не достигшие необходимого уровня зрелости, отстаиваются в приглубых местах.

В первой декаде июля кижуч встречается с океанской стороны Курильских островов, во второй и третьей – также в основном в океане, но уже проникает и в восточную часть Охотского моря. В первой декаде августа его значительная часть уже находится в Охотском море. В июле-августе в целом выделяются два района повышенных концентраций кижуча. Основной связан в первую очередь с прохождением представителей западно-камчатского стада, являющегося вторым по численности среди азиатских стад этого вида после кижуча р. Камчатка. В июле он больше тяготеет к океаническим водам у северных Курильских островов, а в августе – к охотоморским водам Камчатки и северных Курильских островов. Второй менее значительный район – воды у средних Курильских островов. Этот район выделяется в теплое время года холодными пятнами вод, связанными с мощными апвеллингами. Поверхностная температура в этих апвеллингах может составлять 2-3 °С и меньше [3].

В открытых океанских водах Курильских островов и Камчатки посткатадромной молоди кижуча в этот сезон почти нет, в открытые воды океана летом не распространяется на восток и восточно-камчатская молодь кижуча. Судя по её распределению в районе Камчатского пролива и Командорских островов в это время, она вдоль шельфа поднимается в Командорскую котловину Берингова моря [4].

Таким образом, кижуч, являясь одним из представителей тихоокеанских лососей с длительным пресноводным циклом, накапливает в своём организме микроэлементы не только во время морских наголов, но и за счёт длительного нахождения в пресноводных водоёмах.

Материалы и методы

Образцы для проведения исследований (половозрелые самца кижуча) собраны сетными орудиями лова в Елизовском районе Камчатского края (р. Ключевка, приток р. Большая, бассейн Охотского моря) в сентябре 2023 г. и в р. Колокольникова (бассейн р. Авача) – в январе 2023 г.

Все пробы отпрепарированы по органам и тканям на месте сбора, заморожены до температуры -18°C; замороженные образцы доставлены в город Южно-Сахалинск на базу ФГБОУ ВО СахГУ для пробоподготовки.

Подготовку к анализу всех полученных в ходе исследования образцов проводили методом кислотного разложения с помощью микроволновой системы пробоподготовки «Меркурий».

Содержание микроэлементов определяли из кислотных минерализатов согласно ГОСТ 26929-94 на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA 7000 в лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН (г. Владивосток). В общей сложности было проведено 420 индивидуальных измерений микроэлементов в органах и тканях кижуча.

Точность определения элементного состава, а также возможного загрязнения образцов в процессе анализа контролировали путем сравнения с калибровочными растворами, в том числе с пустым (нулевым) раствором. Точность и прецизионность использованного метода подтверждена регулярным анализом стандартного референтного материала SRM-1566a. Среднее значение, стандартное отклонение и достоверность сравниваемых различий (с использованием U-критерия Манна-Уитни) рассчитывали в программе MS Excel, концентрацию тяжёлых металлов выражали в мкг/г сырой массы как среднее значение ± стандартное отклонение.

Места сбора проб на юго-западном и юго-восточном побережьях полуострова Камчатка представлены на рис. 1.



Рис. 1. Схема мест отбора проб в устье р. Ключевка (приток р. Большая, бассейн Охотского моря) и р. Колокольникова (бас. р. Авача, Тихий океан)

Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания микроэлементов в исследуемом материале представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание микроэлементов в мышечной ткани, печени и гонадах кижуча дальневосточных морей, мкг/г сырой массы

	Zn	Cu	Ni	Mn	Fe	Cd	Pb
Река Ключевка (бассейн р. Большая), сентябрь 2023 года. Средняя масса рыб 3010 ± 491 г							
Мышцы	$6,49 \pm 1,55$	$0,31 \pm 0,06$	$0,35 \pm 0,14$	$0,11 \pm 0,06$	$4,37 \pm 0,44$	$0,007 \pm 0,002$	$0,256 \pm 0,077$
Печень	$61,41 \pm 23,83$	$6,62 \pm 3,09$	$0,50 \pm 0,20$	$0,87 \pm 0,14$	$171,28 \pm 29,67$	$0,222 \pm 0,107$	$0,284 \pm 0,097$
Гонады самцов	$22,01 \pm 8,82$	$0,23 \pm 0,07$	$0,48 \pm 0,15$	$0,23 \pm 0,07$	$9,74 \pm 1,59$	$0,073 \pm 0,046$	$0,922 \pm 0,477$
Река Колокольникова (Авачинский залив), январь 2023 года. Средняя масса рыб 1082 ± 127 г							
Мышцы	$0,08 \pm 0,02$	$0,96 \pm 0,24$	$0,19 \pm 0,10$	$0,14 \pm 0,05$	$6,48 \pm 1,57$	$0,045 \pm 0,021$	$0,070 \pm 0,021$
Печень	$85,98 \pm 34,46$	$20,02 \pm 14,26$	$0,18 \pm 0,12$	$0,65 \pm 0,09$	$186,62 \pm 53,78$	$0,538 \pm 0,300$	$0,080 \pm 0,015$
Гонады самцов	$31,49 \pm 25,75$	$1,38 \pm 1,37$	$0,20 \pm 0,12$	$0,13 \pm 0,06$	$13,65 \pm 8,95$	$0,096 \pm 0,033$	$0,171 \pm 0,058$

Примечание: полужирным обозначены наибольшие значения концентраций элементов. ДУ (мкг/г сырой массы) в морепродуктах: Pb – 1,0; Cd – 0,2 (мышцы), 0,7 (печень) и 1,0 (гонады самцов и икра) (СанПиН, 2002; ТР/TC, 2011)

Существенных различий в содержании микроэлементного состава кижуча между реками Ключевка и Колокольникова полуострова Камчатка обнаружено не было. В целом, количество определяемых микроэлементов в мышцах и гонадах кижуча из р. Ключевка уменьшается в ряду Zn>Fe>Ni>Pb>Cu>Mn>Cd, для кижуча р. Колокольника смещение в ряду немного отличается: Zn>Fe>Cu>Ni>Mn>Pb>Cd.

В печени рыб из обеих рек преобладает железо, составляющее для р. Ключевка значение $171,28 \pm 29,67$, для р. Колокольникова – $186,62 \pm 53,78$ мкг/г сырой массы. Содержание этого микроэлемента в мышцах и гонадах самцов более чем в 10 раз ниже, чем в печени и варьирует в пределах от $4,37 \pm 0,44$ мкг/г в мышцах кижуча р. Ключевка до $13,65 \pm 8,95$ в гонадах кижуча р. Колокольникова.

Содержание цинка в печени кижуча рассматриваемых рек также значительно превышает его содержание в мышцах и гонадах самцов, составляя значения в $61,41 \pm 23,83$ и $85,98 \pm 34,46$ мкг/г для р. Ключевка и р. Колокольникова соответственно. Концентрации Zn в мышцах рыб р. Колокольникова составили значение $0,08 \pm 0,02$ мкг/г, но при этом его концентрация в гонадах в 1,5 раза больше концентрации в гонадах р. Ключевка и составляет $31,49 \pm 25,75$ мкг/г.

Концентрации меди в мышцах и печени для особей кижуча р. Колокольникова превышают концентрации р. Ключевка в 3 раза и составляют значения $6,62 \pm 3,09$ мкг/г и $20,02 \pm 14,26$ мкг/г соответственно. В гонадах самцов превышение концентрации Cu для образцов восточно-камчатской реки в 6 раз больше, чем у западно-камчатских образцов и составляет значение $1,38 \pm 1,37$ мкг/г сырой массы.

Более высокие концентрации меди и цинка у кижуча восточного побережья Камчатки характеризуются тем, что оно более подвержено антропогенному воздействию и нагрузке, по сравнению с западно-камчатским побережьем, поскольку зона вблизи Авачинского залива подверженальному, критическому и катастрофическому воздействию на природные системы полуострова за счёт развития инфраструктуры дорожной сети, расширения поселений и освоения земель, а также разведки и добычи полезных ископаемых [5]. В то же время район бассейна р. Большая (западная Камчатка) находится, в основном, в зонах слабого, умеренного и немного значительного антропогенного воздействиями. С годами освоение восточно-камчатского побережья только усилилось, что сказывается на более высоких концентрациях некоторых микроэлементов рыб, выловленных в водах вблизи этого района, что было также отмечено, например, в работах по изучению микроэлементного нерки восточной Камчатки [6].

Содержание никеля во всех органах и тканях кижуча р. Ключевка в 2-2,5 раза больше, чем у кижуча р. Колокольникова. Концентрация в мышцах составила $0,35 \pm 0,14$ мкг/г, в печени – $0,48 \pm 0,15$ мкг/г и в гонадах самцов – $0,50 \pm 0,20$ мкг/г. Более высокие концентрации Ni западно-камчатских особей могут быть связаны с тем, что в летний период они нагуливаются вблизи Курильских островов, которые являются районом высокой биологической продуктивности морских вод, максимальные показатели которой приурочены к зонам воздействия апвеллингов, обогащённых биогенами и микроэлементами, именно с воздействием этих зон связывают в данном районе повышенное содержание в микроорганизмах Ni, а также других некоторых других микроэлементов [7].

Концентрации марганца в мышцах кижуча обоих рек практически идентичны и существенной разницы между ними нет. При этом, концентрации этого микроэлемента в печени и гонадах самцов немного выше в образцах р. Ключевка, чем у образцов р. Колокольникова, максимальные значения были получены в печени – у образцов р. Ключевка $0,87 \pm 0,44$ мкг/г, у образцов р. Колокольникова – $0,65 \pm 0,09$ мкг/г.

Концентрация токсичного свинца в мышцах и печени рыб как р. Ключевка, так и р. Колокольникова находится в пределах нормы (1,0 мкг/г сырой массы), установленной согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 для морепродуктов [8]. При этом содержание Pb в этих органах кижуча из р. Ключевка в 3,5 раза больше, чем в образцах кижуча из р. Колокольникова. В гонадах самцов кижуча р. Колокольникова концентрации свинца в 2,5 раза выше, чем в их мышцах и печени, но при этом также не превышает ДУ, чего нельзя сказать о концентрации этого микроэлемента в печени образцов кижуча р. Ключевка, где значения превышают, с учётом стандартного отклонения, максимально допустимый уровень согласно СанПиН в 1,5-2 раза. Максимальная концентрация свинца в гонадах самцов западно-камчатского кижуча составила значение в $0,922 \pm 0,477$ мкг/г сырой массы.

Более высокие концентрации свинца в образцах кижуча р. Ключевка могут быть связаны с тем, что в периоды своей морской миграции они некоторое время кормятся вблизи Курильских островов, известных как высокопродуктивная зона, обогащенная фитопланктоном, зоопланктоном, мелкими рыбами, отмирающим планктоном и его частями, а также другими взвешенными частицами, на которых свинец может сорбироваться, становясь менее подвижным и более локализованным, и затем поглощаться вместе с пищевыми частицами обитателями пелагиали, прежде всего верхней, к каковым относятся тихоокеанские лососи [9].

Подобная тенденция прослеживается и по содержанию второго исследуемого токсичного микроэлемента – кадмия. В мышцах и гонадах кижуча обоих рек концентрации находятся в пределах нормы (0,2 мкг/г для мышечной ткани и 1,0 мкг/г для гонад самцов и икры), установленной

согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 для морепродуктов. При этом значение концентрации этого микроэлемента в мышцах образцов р. Колокольникова превышает значение образцов р. Ключевка в 7 раз и составляет $0,045 \pm 0,021$ мкг/г. Разница концентраций в гонадах не столь существенна, как в мышцах; количество кадмия составило $0,073 \pm 0,046$ мкг/г для р. Ключевка и $0,096 \pm 0,033$ мкг/г для р. Колокольникова. Содержание же Cd в печени р. Ключевка находится в пределах нормы (0,7 мкг/г); для р. Колокольникова – в 1,5 раза превышает максимально допустимый уровень для некоторых исследованных образцов. При этом концентрация Cd в печени кижуча р. Ключевка в 2,5 раза меньше концентрации, чем у кижуча р. Колокольникова: значения составляют $0,222 \pm 0,107$ мкг/г и $0,542 \pm 0,295$ мкг/г сырой массы для первой и второй рек соответственно.

Более высокие концентрации кадмия в образцах восточно-камчатского кижуча могут свидетельствовать о том, что в период своего нагула кижуч этого региона находится в течение довольно длительного времени вблизи Командорских и Алеутских островов Берингово моря, которые попадают в зону Курило-Камчатского желоба, являющего частью Тихоокеанского огненного кольца. В этой зоне поставщиками химических элементов в окружающую природную среду являются подводные и надводные вулканы, где благодаря апвеллингу формируются импактные геохимические зоны. Повышенное содержание кадмия в активно перемещающихся тихоокеанских лососях, характеризуется именно их миграцией как минимум дважды в жизни через воды геохимической провинции курило-камчатского района [9].

Заключение

Как следует из полученных результатов проведённого анализа по данным таблицы 1, для кижуча рек Ключевка и Колокольникова наблюдаются повышенные концентрации содержания железа, цинка и меди, а также токсичных кадмия и свинца.

Более высокие концентрации Zn и Cu образцов кижуча р. Колокольникова являются свидетелями высокой антропогенной деятельности на восточном побережье п-ова Камчатка, а повышенные концентрации Cd – свидетелем вулканогенной активности – пребыванию кижуча в нагульный период в импактной зоне Курило-Камчатского района. В свою очередь, более высокие концентрации Ni и Pb у образцов р. Ключевка (западное побережье Камчатки) связаны с их морским нагулом в Охотском море и питанием вблизи Курильских островов.

Повышенные концентрации железа связаны с его накоплением в организме кижуча ввиду продолжительного пресноводного периода жизни в водоёмах полуострова Камчатка, а также с возможным воздействием терригенного стока вблизи р. Ключевка и р. Колокольникова. Концентрации марганца в мышцах кижуча обоих рек практически идентичны и существенной разницы между ними нет. При этом, концентрации этого микроэлемента в печени и гонадах самцов немного выше в образцах р. Ключевка, чем у образцов р. Колокольникова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марченко, С. Л. Кижуч *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) материкового побережья Охотского моря / С.Л. Марченко // Известия ТИНРО. – 2022. – Т. 202. – Вып. 3. – С. 556–579.
2. Черешнев, И. А. Лососевые рыбы Северо-Востока России / И. А. Черешнев, В. В. Волобуев, А. В. Шестаков, С. В. Фролов. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 496 с.
3. Шунтов, В. П. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: в 2 т. / В. П. Шунтов, О. С. Темных. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2011. – Т.2. – 473 с.
4. Шунтов, В. П. Тихоокеанские лососи в морских и океанических экосистемах: в 2 т. / В.П. Шунтов, О. С. Темных. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. – Т.1. – 481 с.
5. Кириченко, В. Е. Интегральная карта антропогенного воздействия на природные комплексы Камчатки / В. Е. Кириченко, О. А. Чернягина // Дальневосточная региональная конференция, посвященная памяти А. П. Васьковского (95-тилетие). Магадан, 28–29 ноября 2006. – URL: <https://terrakamchatka.ru/file/archive/maprus.htm> (дата обращения: 1.05.2025).
6. Христофорова, Н. К. Особенности микроэлементного состава нерки (*Oncorhynchus nerka* Walbaum, 1972) / Н. К. Христофорова, А. В. Литвиненко, Д. Д. Данилин, К. Р. Салимзянова, М. К. Гамов. – Трансформация экосистем, 2024. – С. 84–96.

7. Малиновская, Т. М. Оценка химико-экологического состояния прибрежных вод Курильских островов по содержанию металлов в буорой водоросли *Fucus evanescens*.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Владивосток, 1996. – 27 с.
8. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – Москва : Госкомсанэпиднадзор РФ, 2002. – 156 с.
9. Литвиненко, А. В. Влияние мест нагула на содержание тяжёлых металлов в горбуше / А. В. Литвиненко, Н. К. Христофорова, В. Ю. Цыганков // Вестник КамчатГТУ. Биологические науки. – Вып. № 62, – 2022. – С. 98–116.

**COMPARATIVE ANALYSIS
OF THE TRACE ELEMENT COMPOSITION OF COHO SALMON
FROM THE KLYUCHEVKA AND KOLOKOLNIKOVA RIVERS
IN KAMCHATKA PENINSULA**

¹Goryachev Stepan Vladimirovich, PhD student

²Litvinenko Anna Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

³Danilin Dmitry Diomidovich, Candidate of Biological Sciences

²Karpenko Irina Vladimirovna, junior research assistant

¹Voitkov Anatoly Dmitrievich, PhD student

⁴Borovkova Alexandra Dmitrievna, PhD student

⁴Donets Maxim Mikhailovich, PhD student

⁴Belanov Maxim Andreevich, PhD student

⁴Tsygankov Vasily Yuryevich, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher

¹Institute of Marine Geology and Geophysics (IMGiG) of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,

e-mail: ¹stepkagoryachev@yandex.ru

^{1,2}Sakhalin State University (SakhSU), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia,

e-mail: ²litvinenko.av@bk.ru

³Kamchatka branch of the Pacific Institute of Geography (KamTIG) FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e-mail: ³danielinbiv@mail.ru

⁴Pacific Institute of Geography (PIG) FEB RAS, Vladivostok, Russia,

e-mail: ⁴tsig_90@mail.ru

Abstract. A comparative analysis of the concentrations of trace elements Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Cd, and Pb in the *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792) species that entered the Klyuchevka and Kolokolnikova rivers (the western and eastern coasts of Kamchatka Peninsula) in September and January 2023, respectively, was conducted. It was found that the West Kamchatka samples contain higher concentrations of Ni and Pb in their organs and tissues, while the East Kamchatka specimens have a higher content of Fe, Zn, Cu, and toxic Cd.

Keywords: coho salmon (*O. kisutch*), trace elements, western and eastern coasts of Kamchatka Peninsula, Kuril Islands, Commander's Basin

ПИЩЕВАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ РОГАТКОВЫХ РЫБ РОДА *HEMILEPIDOTUS* (COTTIDAE) В ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ВОДАХ РОССИИ

Токранов Алексей Михайлович, д-р биол. наук, старший научный сотрудник

Камчатский филиал ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, Россия, e-mail: tok_50@mail.ru

Аннотация. По материалам, собранным в 1978–2002 гг., и имеющимся литературным данным, рассмотрена пищевая специализация получешуйников рода *Hemilepidotus* в дальневосточных водах России. Установлено, что, хотя после перехода к донному образу жизни основными пищевыми объектами этим видам рогатковых рыб служат ракообразные, существенную роль в питании каждого из них в зависимости от глубины и условий обитания играет какая-то вполне определенная группа этих беспозвоночных (например, усоногие, десятиногие раки или эвфаузииды), а также свой набор второстепенных кормовых организмов и размеры их потребляемых особей.

Ключевые слова: получешуйники, пищевая специализация, кормовые объекты, условия обитания, дальневосточные воды России

Введение

Рогатковые рыбы рода *Hemilepidotus* или получешуйники – широко распространенные в северной части Тихого океана и прилегающих к ней арктических водах представители сем. Cottidae, которые встречаются от приливно-отливной зоны до глубины более 600 м от берегов Японии до Берингова пролива и южной части Чукотского моря. В настоящее время в дальневосточных водах России достоверно известно 5 видов этих рогатковых, 4 из которых относятся к категории обычных или многочисленных рыб [1-3]. В отдельных районах своего обширного ареала некоторые виды получешуйников (например, белобрюхий *Hemilepidotus jordani*, пестрый *H. gilberti* и бычок-бабочка *H. papilio*) обладают относительно высокой численностью и биомассой [4, 5, и др.], в связи с чем, играют заметную роль в донных ихтиоценах как потенциальные пищевые конкуренты промысловых рыб [6, и др.], а также являются возможными объектами прибрежного рыболовства [5, 7-9, и др.]. Обобщение результатов собственных исследований [10-15] с привлечением имеющихся литературных данных [16-18], позволяет получить представление о пищевой специализации 4 видов этого рода (белобрюхого *Hemilepidotus jordani*, пестрого *H. gilberti*, чешуехвостого *H. zarus* получешуйников и бычка-бабочки *H. papilio*) в дальневосточных водах России.

Материал и методика

Материалом для настоящего сообщения послужили результаты обобщения собственных материалов [10-15], собранных в прикамчатских водах в период с 1978 по 2002 г. и обработанных в соответствии с «Методическим пособием...» [19] количественно-весовым методом (более 2,4 тыс. желудков трех видов получешуйников – белобрюхого, пестрого и чешуехвостого). Дополнительно вскрыто и проанализировано в полевых условиях еще около 5 тыс. желудков первого и 3 тыс. желудков второго вида получешуйников, а также 100 экз. бычка-бабочки, что позволило существенно расширить представление о качественном составе пищи этих видов рогатковых и размерах потребляемых ими организмов. Кроме того, использована имеющаяся на сегодняшний день в литературе информация о составе пищи получешуйников и особенностях их питания [16-18] в дальневосточной акватории России от тихоокеанских вод северных Курильских островов до Анадырского залива Берингова моря, включая северо-восток Охотского моря (рис. 1).

Результаты и обсуждение

Полученные данные свидетельствуют, что среди 4 исследованных видов получешуйников хорошо прослеживается специализация в потреблении вполне определенных групп организмов в зависимости от размеров, образа жизни, глубины и условий обитания. Хотя основными объектами питания всем этим видам рогатковых рыб служат ракообразные (табл. 1), для каждого из них характерен свой набор главных и второстепенных кормовых организмов, а также величина их потребляемых особей (так, если обладающий крупными размерами белобрюхий получешуйник заглатывает эхиурид преимущественно целиком, то более мелкий пестрый получешуйник, в основном, откусывает хоботки этих червей).



Рис. 1. Район сбора материалов, использованных в работе:
1 – собственные материалы, 2 – литературные данные

Например, обитающему в дальневосточных водах вдоль Курильской гряды от о-ва Парамушир на севере до о-ва Кетой на юге (известен также в Беринговом море у Командорских островов) преимущественно в батиметрическом диапазоне 100-200 м [3] самому мелкому и короткоцикловому из них чешуеквостому получешуйнику, максимальная длина которого достигает всего 26 см, масса тела – 330 г, а продолжительность жизни не превышает 9 лет [14], основными кормовыми объектами служат усоногие ракообразные, доля которых в пище составляет около 44 % по массе (табл. 1, рис. 2).

Это вызвано тем, что чешуеквостый получешуйник обычен и даже многочислен на отдельных участках шельфа и материкового склона со сложным рельефом дна и скалистыми грунтами, покрытыми различными беспозвоночными-обрастателями (губки, гидроиды, мшанки и др.), в том числе усоногими ракообразными, играющими важную роль в составе его пищи (табл. 1, рис. 2). Поскольку в данном районе в течение нескольких последних десятилетий традиционно ведется промысел минтая *Gadus chalcogrammus*, северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius* и командорского кальмара *Berryteuthis magister*, а образующиеся в процессе их обработки отходы (внутренности, плавники, головы и др.) попадают с судов в воду, эти кормовые ресурсы в настоящее время играют заметную роль в рационе чешуеквостого получешуйника [14], составляя свыше 13 % массы его пищи (табл. 1, рис. 2). Однако мелкие особи чешуеквостого получешуйника потребляют преимущественно таких представителей бентоса как многощетинковые черви, бокоплавы и брюхоногие моллюски, в связи с чем, суммарная доля их у этого вида в целом составляет 28,5 % по массе (табл. 1, рис. 2).

**Состав пищи (в % по массе) исследованных видов получешуйников
в дальневосточных водах России**

Компонент	Вид получешуйника			
	1	2	3	4
	ОМ, СК, ВК, БМ	ОМ, СК, ВК, БМ	СК	ОМ
Anthozoa	2,6	0,2	<0,1	-
Polychaeta	4,1	9,6	12,4	0,2
Sipunculida	1,0	0,2	-	-
Echiurida	2,8	5,4	0,4	0,2
Cirripedia	-	-	43,7	-
Isopoda	2,7	1,5	0,3	2,2
Amphipoda	1,7	7,2	8,6	4,5
Hyperiida	-	-	-	30,2
Euphausiacea	-	-	-	6,9
Decapoda	61,3	58,8	1,6	12,8
Bivalvia	1,6	1,4	0,5	3,0
Gastropoda	1,6	3,6	7,5	-
Cephalopoda	0,8	0,4	2,6	0,8
Pisces	7,9	6,4	4,6	37,3
Икра рыб	9,1	1,1	3,8	-
Отходы рыбообработки	-	-	13,2	-
Прочие	2,8	4,2	0,8	1,9
Число рыб, экз.	1540	909	244	109
Максимальная длина, см	62	40	26	44
Диапазон глубин обитания, м	0-360	0-604	61-530	9-320
Батиметрический оптимум, м	10-280	10-280	100-200	40-150

Примечание. Получешуйник: 1 – белобрюхий (осредненные данные по: [10–13, 16, 17]), 2 – пестрый (осредненные данные по: [10–13, 16, 17]), 3 – чешуехвостый, по: [14]; 4 - бычок-бабочка (осредненные данные по: [15, 17, 18]).

Район: ОМ – северо-восточная часть Охотского моря; СК – тихоокеанские воды северных Курильских островов; ВК – воды Восточной Камчатки; БМ – западная часть Берингова моря.

В отличие от чешуехвостого, самым многочисленным и широко распространенным в дальневосточных водах России белобрюхому и пестрому получешуйнику (максимальные размеры первого из них достигают 62 см, а масса тела – 2,8 кг, второго – соответственно 40 см и 0,9 кг) [9, 20], у которых ярко выражены сезонные вертикальные миграции из самой верхней зоны материкового склона и прилегающих к ней участков нижней части шельфа (здесь они с января по апрель концентрируются на зимовку) в прибрежье [21], где на глубинах менее 20-30 м в августе-сентябре происходит их нерест [22-24], главными пищевыми объектами служат разные представители десятиногих ракообразных (табл. 1, рис. 2). Однако доминирующую роль среди них играют мелкие особи краба стригуна опилио *Chionoecetes opilio* с шириной карапакса менее 30-35 мм [10, 25], доля которых у белобрюхого получешуйника достигает 37 %, а у пестрого – около 18 % от массы всех потребляемых десятиногих ракообразных [10, 13]. Существенное значение в их пище имеют также раки-отшельники рода *Pagurus* – соответственно около 17 и 14 % от массы всех десятиногих раков. В отличие от пестрого получешуйника, заметную долю (свыше 9 % по массе) в рационе обладающего значительно большими размерами белобрюхого получешуйника составляет донная икра рыб, в то время как у более мелкого пестрого получешуйника ее относительное значение в пище всего около 1 % (табл. 1, рис. 2). Однако, его особи потребляют существенно больше представителей таких групп бентоса, как различные черви (главным образом, многощетинковые и эхиуриды), а также бокоплавы и брюхоногие моллюски, суммарная доля которых достигает 25,8 % по массе, тогда как у белобрюхого получешуйника их значение в пище в 2,3 раза меньше (табл. 1, рис. 2).

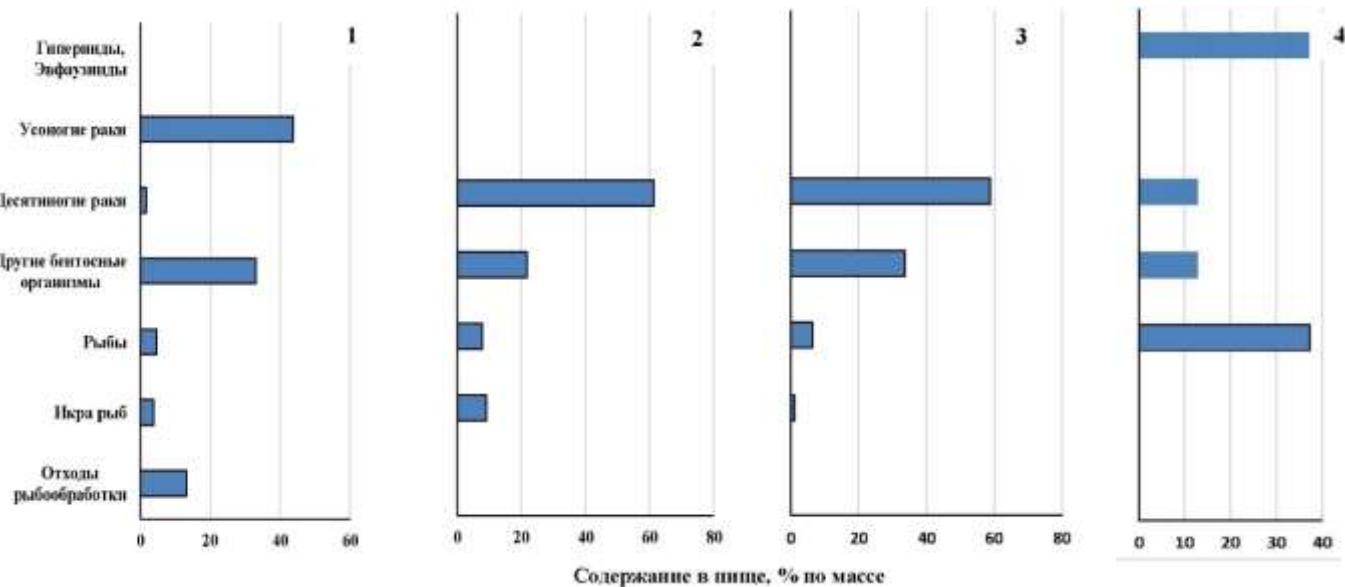


Рис. 2. Соотношение в пище (в % по массе) исследованных видов получешуйников (1 – чешуекостый, 2 – белобрюхий, 3 – пестрый, 4 – бычок-бабочка) разных кормовых объектов в дальневосточных водах России

И наконец, основными пищевыми объектами наиболее холодолюбивому из 4 рассматриваемых видов получешуйников - бычку-бабочке (его максимальная длина достигает 44 см, а масса тела – 1 кг), обитающему преимущественно на глубинах от 40 до 150 м [15] в пределах холодного промежуточного слоя при минимальных положительных (менее 2°C) и отрицательных температурах воды у дна, наряду с десятиногими раками, служат концентрирующиеся в придонных слоях в процессе суточных вертикальных миграций такие крупные представители планктонных ракообразных как гиперииды и эвфаузииды, суммарная доля которых в его пище в северо-восточной части Охотского моря, например, достигает 37,1 % по массе (табл. 1, рис. 2). Однако, тот факт, что, наряду с ракообразными, существенную роль (более 37 % по массе) в составе пищи бычка-бабочки играют также мелкие стайные рыбы (преимущественно тихоокеанская песчанка *Ammotretis hexapterus*), позволяет некоторым исследователям относить его к категории эврифагов [18], которые потребляют представителей планктонных и бентосных организмов, а также рыб.

Заключение

Полученные результаты, на наш взгляд, достаточно наглядно свидетельствуют, что у всех 4 исследованных видов получешуйников после завершения обитания в толще воды во время раннего периода онтогенеза и оседания на дно, происходит определенная специализация в использовании кормовых организмов, обусловленная размерами, глубиной и условиями их обитания. Хотя основными пищевыми объектами всем этим видам рогатковых рыб служат ракообразные, существенную роль в питании каждого из них играет какая-то вполне определенная группа этих беспозвоночных, а также свой набор второстепенных кормовых организмов и размеры их потребляемых особей.

В связи с этим, доминирующими кормовыми объектами обитающего на вершинах и склонах подводных поднятий Курильской гряды взрослого чешуекостого получешуйника являются усоногие раки, а его мелких особей - такие представители бентоса как многощетинковые черви, бокоплавы и брюхоногие моллюски. Дополнительной пищей ему служат образующиеся в процессе обработки отходы рыб и командорского кальмара (внутренности, плавники, головы и др.), попадающие в воду с промысловых судов.

Основной пищей самым многочисленным и широко распространенным в дальневосточных водах России белобрюхому и пестрому получешуйникам служат разные представители десятиногих ракообразных. Однако доминирующую роль среди них играют мелкие особи краба-стригуна опилио *Chionoecetes opilio* с шириной карапакса менее 30-35 мм. Кроме краба-стригуна опилио, существен-

ное значение в пище этих рогатковых имеют также раки-отшельники рода *Pagurus*. Второстепенным объектом питания обладающего значительно большими размерами белобрюхого получешуйника является донная икра рыб, в то время как у более мелкого из них пестрого получешуйника такие представители бентоса, как черви, бокоплавы и брюхоногие моллюски. Оба этих получешуйника имеют наибольшее сходство (около 33 %) по потреблению мелкого краба-стригуна и раков-отшельников. Однако, как известно [26], степень пищевого сходства среди рыб, еще не всегда свидетельствует о напряженных пищевых отношениях между ними, поскольку может быть результатом высокой численности какого-то кормового организма. Именно это характерно для мелких особей краба-стригуна опилио, которые, по данным траловых учетных съемок, довольно многочисленны во многих районах дальневосточных вод (например, на шельфе тихоокеанского побережья северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки). Поэтому они, по-видимому, вполне обеспечивают пищей белобрюхого и пестрого получешуйников, у каждого из которых специфичны число второстепенных кормовых объектов, их видовой состав и степень использования в течение года.

Главными пищевыми объектами наиболее холодолюбивому из 4 рассматриваемых видов получешуйников - бычку-бабочке, обитающему преимущественно на глубинах от 40 до 150 м в пределах холодного промежуточного слоя при минимальных положительных и отрицательных температурах воды у дна, наряду с десятиногими раками, служат концентрирующиеся в придонных слоях в процессе суточных вертикальных миграций такие крупные представители планктонных ракообразных как гиперииды и эвфаузииды. Однако, вместе с этими представителями ракообразных, существенную роль в составе его пищи играют также мелкие стайные рыбы.

Подобная пищевая специализация, на наш взгляд, позволяет даже обитающим в сходных батиметрических диапазонах получешуйникам (например, белобрюхому и пестрому) избегать напряженных пищевых взаимоотношений и более эффективно использовать кормовые ресурсы тех участков шельфа, на которых происходит их нагул.

Благодарности

Автор выражает благодарность всем своим коллегам из КамчатНИРО, ВНИРО, ТИНРО, КФТИГ ДВО РАН и других научно-исследовательских организаций, принимавшим участие в сборе материалов по изучению питания получешуйников в 1978-2002 гг.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (№ ЕГИСУ 124012700496-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб северных Курильских островов / В. В. Федоров // Промыслово-биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских о-вов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. – Москва : Издательство ВНИРО, 2000. – С. 7–41.
2. Класс Cephalaspidomorphi – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые Рыбы. Класс Holocephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные Рыбы / Б. А. Шейко, В. В. Федоров // Каталог позвоночных Камчатки и сопредельных морских акваторий. – Петропавловск-Камчатский : Камчатский печатный двор, 2000. – С. 7–69.
3. Парин, Н. В., Евсеенко, С. А., Васильева, Е. Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 733 с.
4. Борец, Л. А. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. – Владивосток : ТИНРО-центр, 1997. – 217 с.

5. Фадеев, Н. С. Справочник по биологии и промыслу рыб северной части Тихого океана. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2005. – 366 с.
6. Токранов, А. М. Трофические группировки рогатковых рыб (Cottidae) в прикамчатских водах // Принципы экологии. – 2019. – №3(33). – С. 101–110. – DOI: 10.15393/j1.art.2019.9662.
7. Токранов, А. М. Бычки – перспективный объект прибрежного лова // Рыбное хозяйство. – 1985. – №5. – С. 28–31.
8. Рогатковые рыбы (Cottidae) прикамчатских вод и проблемы использования их ресурсов / А. Н. Токранов // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата» : сборник докладов (Хабаровск, 29.09–03.10.2014 г.). – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 162–165.
9. Рогатковые рыбы подсемейства Hemilepidotinae (Cottidae) прикамчатских вод и проблемы использования их ресурсов / А. М. Токранов // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). – Петропавловск-Камчатский : КамчатНИРО, 2017. – С. 28–34.
10. Токранов, А. М. Питание получешуйных бычков Джордана *Hemilepidotus jordani* Bean и Гильberta *Hemilepidotus gilberti* Jordan et Starks (Cottidae) у восточного побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. – 1985. – Т. 25. – Вып. 1. – С. 89–95.
11. Керчаки и получешуйные бычки / А.М. Токранов // Биологические ресурсы Тихого океана. – Москва : Наука, 1986. – С. 319–328.
12. Золотов, О. Г., Токранов, А. М. Особенности питания терпугов и получешуйников в период нереста в верхней сублиторали Восточной Камчатки // Вопросы ихтиологии. – 1991. – Т. 31. – Вып. 1. – С. 130–137.
13. Токранов, А. М. Особенности питания рогатковых рыб рода *Hemilepidotus* (Cottidae) и их место в трофической системе прибрежных вод Камчатки // Вопросы ихтиологии. – 1995. – Т. 35. – № 5. – С. 642–650.
14. Токранов, А. М., Орлов, А. М., Шейко, Б. А. Краткий обзор родов *Hemilepidotus* и *Melletes* (Cottidae) и некоторые черты биологии нового для фауны России вида – чешуехвостого получешуйника *Hemilepidotus zarus* из тихоокеанских вод северных Курильских островов // Вопросы ихтиологии. – 2003. – Т. 43. – № 3. – С. 293–310.
15. Токранов, А. М. Некоторые черты биологии бычка-бабочки *Melletes papilio* (Cottidae) в прикамчатских водах Охотского моря // Вопросы ихтиологии. – 2014. – Т. 51. – № 5. – С. 566–573.
16. Напазаков, В. В., Чучукало, В. И. Пищевые рационы и трофический статус массовых видов рогатковых рыб (Cottidae) в западной части Берингова моря в осенний период // Вопросы ихтиологии. – 2003. – Т. 43. – № 2. – С. 200–208.
17. Чучукало, В. И. Питание и пищевые отношения нектона и нектобентоса в дальневосточных морях. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. – 484 с.
18. Чучукало, В. И., Лапко, В. В., Кузнецова, Н. А., Слабинский, А. М., Напазаков, В. В., Надточий, В. А., Кобликов, В. Н., Пущина, О. И. Питание донных рыб на шельфе и материковом склоне северной части Охотского моря летом 1997 г. // Известия ТИНРО. – 1999. – Т. 126. – С. 24–57.
19. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. – Москва : Наука, 1974. – 254 с.
20. Белобрюхий получешуйный бычок – *Hemilepidotis jordani* Bean, 1881 / А. Н. Котляр // Промысловые рыбы России. В двух томах (под ред. О. Ф. Гриценко, А. Н. Котляра и Б. Н. Котенева). – Москва : Издательство ВНИРО, 2006. – Т. 1. – С. 525–526.
21. Токранов, А. М. Распределение получешуйных бычков Джордана и Гильберта *Hemilepidotus jordani* Bean и *Hemilepidotus gilberti* Jordan et Starks (Cottidae) у восточного побережья Камчатки // Вопросы ихтиологии. – 1981. – Т. 21. – Вып. 5. – С. 823–829.
22. Горбунова, Н. Н. Размножение и развитие получешуйных бычков (Cottidae, Pisces) // Труды Института океанологии АН СССР. – 1964. – Т. 73. – С. 235–251.
23. Токранов А.М. Размножение массовых видов керчаковых рыб прикамчатских вод // Биология моря. – 1988. – № 4. – С. 28–32.

24. Золотов, О. Г., Токранов, А. М. Экологические особенности репродуктивного периода терпугов (Hexagrammidae) и получешуйников (Cottidae) в тихоокеанских водах Камчатки // Вопросы ихтиологии. – 1989. – Т. 29. – Вып. 3. – С.430–438.

25. Питание восточнокамчатской трески / А. М. Токранов // Тресковые дальневосточных морей. – Владивосток : ТИНРО, 1986. – С. 102–111.

26. Фортунатова, К. Р., Попова, О. А. Питание и пищевые взаимоотношения хищных рыб в дельте Волги. – Москва : Наука, 1973. – 273 с.

FOOD SPECIALIZATION OF SCULPINS OF GENUS *HEMILEPIDOTUS* (COTTIDAE) IN FAR EASTERN WATERS OF RUSSIA

Tokranov Alexey Mikhailovich, Doctor of Biological Sciences, Senior Scientist

Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute Far-Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia,
e-mail: tok_50@mail.ru

Abstract. Based on materials collected in 1978–2002 and available literary data, the food specialization of the Irish lords of the genus *Hemilepidotus* in the Far Eastern waters of Russia is examined. It has been established that, although after the transition to a bottom lifestyle, the main food objects for these species of sculpins are crustaceans, a significant role in the nutrition of each of them, depending on the depth and living conditions, is played by some very specific group of these invertebrates, as well as their own set of secondary food organisms and the sizes of their consumed individuals.

Key words: Far Eastern waters of Russia, Irish lords, food specialization, objects of feeding, habitat conditions

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ
МОЛОДЫХ СИГА (*COREGONUS LAVARETUS*, L.)
НА НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАЗЕ
Атлантического филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«АтлантНИРО») В 2025 ГОДУ**

¹Шахова Евгения Владимировна, канд. биол. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Трофимов Руслан Валерьевич, заведующий сектором
аквакультуры и пресноводных водоёмов

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: evgeniya.shakhova@klgtu.ru

²Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт рыбного хозяйства и океанографии» («АтлантНИРО»),
Калининград, Россия, e-mail: trofimov@atlant.vniro.ru

Аннотация. Расширение объёмов выпуска молоди сига способствует восстановлению популяции и увеличивает промысловый запас этого вида в Балтийском море. В результате анализа данных гидрохимического и морфофизиологического контроля выявлено замедление прироста массы личинок и повышенный отход по сравнению с остальным периодом выращивания в фазе перехода с эндогенного на экзогенное питание и при переводе с живого корма науплий *Artemia salina* на стартовый искусственный экструдированный корм. Отмечено замедление массонакопления у личинок при температуре воды ниже оптимальных значений. Органо-соматические показатели у исследованной молоди сига характерны для данной возрастной группы, что свидетельствует об активном росте рыб и пластическом обмене, а также благоприятных условиях, созданных рыбоводами в период выращивания личинки и молоди сига в бассейнах УЗВ.

Ключевые слова: Сиг, молодь, искусственное воспроизводство, биотехника разведения, морфофизиология, прирост, массонакопление, индексы внутренних органов

Введение

Сиг (*Coregonus lavaretus*, L.) является одним из ценных проходных видов рыб Куршского залива. Изменение климата в бассейне Куршского залива в сторону потепления, нарушение естественного воспроизводства вида и высокая интенсивность рыболовства в 1980-х годах привели его популяцию в депрессивное состояние. Запрет на промышленный лов сига в 1985 году не помог восстановить популяцию, поэтому было принято решение об искусственном воспроизводстве вида и выпуске молоди в Куршский залив, которое началось в 2009 году. Исследование учёными в 2020 году эффективности искусственного воспроизводства сига (Шибаев С.В. и др., 2020) показало, что произошло изменение размерно-возрастной структуры популяции в сторону омоложения, а также отмечено увеличение индексов численности нерестового стада в 10 раз и объемов промышленного вылова в 4 раза [1, 2]. На сегодняшний день на территории Калининградской области работают три организации, занимающиеся искусственным воспроизводством молоди сига и выпускающих её в прибрежную часть Куршского залива – ФГБУ «Главрыбвод», ООО «Полекс-Аква» и Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»).

Основной задачей экспериментального рыбоводного цеха «АтлантНИРО» является проведение прикладных научно-исследовательских работ в области аквакультуры, в том числе искусственного воспроизводства ценных видов гидробионтов бассейна Балтийского моря, а также Куршского

и Калининградского (Вислинского) заливов. За последние три года «АтлантНИРО» осуществлял выпуск молоди сига в Куршский залив Балтийского моря как в целях компенсации ущерба, наносимого хозяйственной деятельностью организаций, осуществляющих строительную и мелиоративную деятельность в регионе, так и с целью пополнения природной популяции ценного промыслового вида для сохранения биологического разнообразия водоема, обеспечения стабилизации состояния популяции сига и устойчивого его промысла.

В процессе выращивания молоди сига «АтлантНИРО» применяет нормативы и биотехнику, разработанные ранее для индустриальных хозяйств с рециркуляционными системами [3,4]. При этом для получения жизнестойкой молоди сига, её выращивание осуществляется на отечественных стартовых искусственных гранулированных кормах при постоянном гидрохимическом и морфофизиологическом контроле, что обеспечивает высокую выживаемость рыб в бассейнах и сокращает потребность в производителях для заготовки половых продуктов. Анализ полученных данных гидрохимического и морфофизиологического контроля в период выращивания молоди сига в 2025 году в экспериментальном рыбоводном цехе «АтлантНИРО» (пос. Лесной, Калининградская область, национальный парк «Куршская коса») стал целью данного исследования.

Материал и методы исследования

Вся исследованная в августе 2025 года молодь сига была получена из икры от диких производителей, пойманых на нерестилищах в Куршском заливе в ноябре 2024 года. Производителей ловили ставными сетями с ячей 50-70 мм, транспортировали в экспериментальный рыбоводный цех, где осуществляли отбор половых продуктов, осеменение икры и её закладку на инкубацию в аппараты Вейса, установленные в инкубационном отделении. Инкубация икры проходила при температуре 2-4 °C в течении 119 суток. С помощью регулирования температурного режима в 2025 году были получены две партии предличинки. Выклев первой партии закончился 20 марта, а второй партии – 7 апреля. Предличинки после выклева поднимались в верхние слои аппарата Вейса и оттуда с током воды поступали в личинкоприёмник лоткового типа. Выдерживание предличинки осуществлялось в течение 3-4 суток, после поднятия личинки на плав, её рассаживали в бассейны либоично-малькового отделения с плотностью посадки 40 тыс. шт./ m^3 (рисунок 1).

Выращивание молоди осуществляли в бассейнах установки замкнутого водообеспечения (УЗВ) (рисунок 1). Установка включает десять бассейнов суммарным объёмом 6,8 m^3 , два биофильтра с коническим дном суммарным объёмом 2 m^3 , накопитель-биофильтр объёмом 1,2 m^3 , два циркуляционных насоса «Pedrollo», чиллер для охлаждения и нагрева воды «Hailea», вихревую воздуховку «Zenova» и концентратор кислорода «Армед». Расход воды в бассейнах контролировали с учётом роста рыб и температуры воды; в среднем он составлял 0,2 л/с.

На начальном этапе выращивания личинку сига в течение 10-14 суток кормили науплиями *Artemia salina*, постепенно переводя её на искусственный стартовый экструдированный корм с диаметром гранулы 0,2-0,4 мм торговой марки «Aquagex» от отечественного производителя АО ГК «МЕЛКОМ». Переход от смешанного на экзогенное питание закончился полным переходом на искусственный корм. В период выращивания молодь сига регулярно подвергали сортировкам и каждые 10 дней контрольным обловам с целью оптимизации процесса выращивания и повышения его эффективности. Первую сортировку проводили при достижении рыбой массы 0,4 г и далее по мере увеличения различий между особями. По результатам сортировок и контрольных взвешиваний корректировали плотность посадки рыбы в бассейнах и суточные дозы кормления, а также подбирали в зависимости от массы рыбы размер крупки корма. Кормление рыб при выращивании проводили ежедневно вручную, соблюдая санитарные нормы и требования. Для определения суточных доз кормов для молоди сига использовали предлагаемые суточные рационы (процент корма от биомассы рыбы в сутки) с корректировкой по фактическому потреблению и физиологическому состоянию молоди.

Контроль за температурой воды, концентрацией растворённого в воде кислорода и водородным показателем проводился с использованием термооксиметра OxyGuard Handy Polaris 2 и pH-метром СОМ-100 ежедневно. В лабораторных условиях раз в 10 дней определяли концентрацию нитритов, нитратов и аммонийного азота в воде бассейнов.

Материалами для исследования послужили данные рыбоводного журнала за 2025 год, контрольных обловов и морфофизиологические показатели молоди сига, полученные путём вскрытия в конце выращивания. В период выращивания молоди проводились наблюдения за динамикой массы тела. Рост молоди сига оценивали по показателям прироста и скорости роста массы тела, а также удельной скорости роста. Отход учитывали ежедневно, методом прямого учёта.



Рис. 1. Экспериментальный рыбоводный цех Атлантического филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО») и молодь сига, выращенная в 2025 году

Для оценки морфофизиологического состояния молоди сига проводили биологический анализ и определяли показатели гепатосамотического индекса, соматического индекса сердца и селезёнки.

Величину отхода определяли ежедневно, во время чистки бассейнов осуществляли сбор погибшей рыбы и её заморозку для последующей утилизации.

Статистическую обработку данных выполняли по общепринятыми методикам, а также с помощью программного пакета «Microsoft Excel 10.0». Определяли следующие параметры признаков: среднеарифметическое значение (M); ошибку (m); среднеквадратичное отклонение (σ) [5].

Результаты и обсуждение

Выращивание молоди сига осуществлялось с 13 марта по 26 августа 2025 года при постепенном повышении температуры воды в бассейнах установки замкнутого водообеспечения от 11,7 до 18,6 °C (рисунок 2).

Колебания температуры воды в период выращивания были не резкими и имели прямую зависимость от колебания температуры воздуха в весенне-летний период. Значения температуры воды только на начальном этапе выращивания с 19 марта по 11 апреля находились близко к нижней допустимой границе для молоди сига (10,0 °C), но не опускались ниже 11,7 °C. Основной период выращивания с 12 апреля по 26 августа температура воды колебалась в границах оптимальных значений от 14,0 до 19,0 °C.



Рис. 2. Температура воды и концентрация кислорода в бассейнах УЗВ в период выращивания молоди сига

Концентрация кислорода растворенного в воде в период выращивания колебалась в прямой зависимости от колебаний температуры воды. В начале выращивания она находилась на уровне верхней оптимальной границы (11,0 мг/л) и составляла 10,7 мг/л. С повышением температуры воды концентрация кислорода в бассейнах УЗВ постепенно снижалась и к концу выращивания достигла 6,0 мг/л, что является нижней допустимой границей показателя для молоди сига [6].

Водородный показатель в период выращивания колебался в диапазоне 7,8-8,0 ед., значения находились в оптимальных границах показателя для молоди сига (7,0-8,0 ед.) [6].

Значения нитрит-ионов и ионов аммония в воде бассейнов УЗВ колебались в пределах допустимых значений для молоди сига и не превышали соответственно 0,005 мгN/л и 0,5 мгN/л.

В апреле 2025 года начальная масса личинки сига, посаженной в бассейны на выращивание, составила 0,015 г. Средняя навеска молоди к 26 августа достигла 4,73 г (рисунок 3). Прирост массы тела за 138 суток выращивания составил 4,71 г.

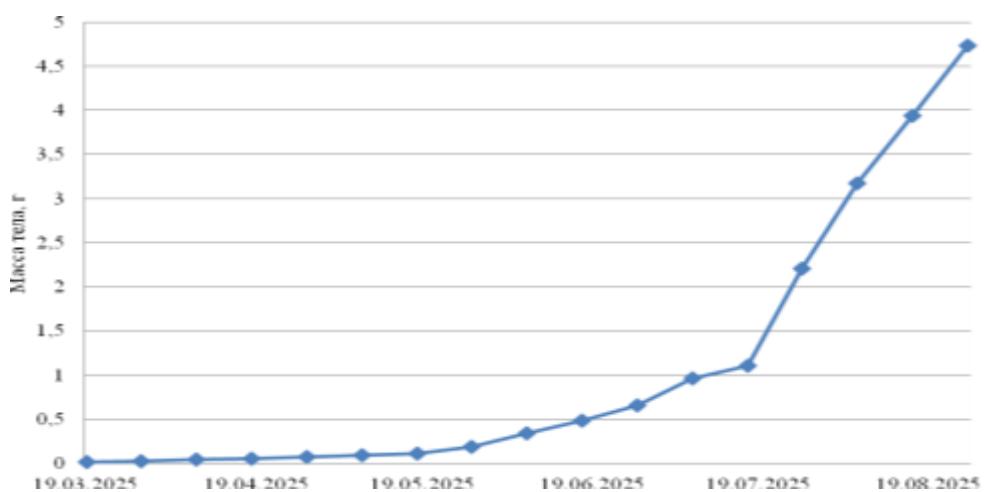


Рис. 3. Динамика массы тела молоди сига в период выращивания

Темп прироста массы тела личинок сига в период выращивания с 19 марта по 19 апреля был плавным и небольшим, что объясняется температурными условиями и особенностями питания. Температура воды в этот период находилась за пределами оптимальных значений. Начиная с 19 апреля температура воды поднялась выше нижней границы оптимума и держалась в оптимальном диапазоне, что повлекло за собой и увеличение массы тела личинок сига. Однако прирост оставался незначительным, поскольку сначала личинки переходили с эндогенного на экзогенное питание и адаптировались к живым кормам, после чего их начали переводили на искусственные корма, что оказывало влияние на скорость роста и выживаемость. На ранних стадиях роста и развития переход на искусственные лососевые корма приводит к задержке роста и гибели части личинок. Причиной

тому является отсутствие в пищеварительном тракте ферментов, которые расщепляют высокомолекулярные белковые соединения, которые входят в состав кормовых компонентов применяемых кормов [7].

В процессе развития личинки после завершения формирования дефинитивных органов пищеварения и продуцирования необходимого количества эндопротеиназ скорость роста особей увеличивается, что мы и наблюдали после 19 мая 2025 г. С середины июля и до конца августа отмечалось резкое увеличение массы тела. Причинами стали снижение плотности посадки после рассадки молоди в освобождённые бассейны, повышение температуры и концентрации кислорода в воде до верхней границы оптимальных значений.

Рост является обобщенным показателем, отражающим условия выращивания и полноценность кормления рыб.

Рыбоводно-биологические показатели молоди сига представлены в таблице 1.

Таблица 1
Рыбоводно-биологические показатели при выращивании молоди сига

Показатели	Значения
Средняя масса тела (начальная), г	0,015±0,002
Средняя масса тела (конечная), г	4,73±0,027
Длина зоологическая, см	8,91±0,13
Длина промысловая, см	7,53±0,12
Длина головы, см	1,91±0,02
Абсолютный прирост, г	4,71
Среднесуточный прирост, г	0,034
Суточный прирост, %	1,44
Коэффициент массонакопления, ед.	0,03
Кормовой коэффициент	1,59
Выживаемость, %	83
Длительность выращивания, сут	138

Показатели темпа роста рыбы значительно варьируются на различных этапах выращивания. Одним из показателей развития рыбы, который показывает особенности развития и закономерности роста является среднесуточный прирост массы тела. В среднем в сутки прирост молоди сига составлял 0,034 г, что говорит об активном росте рыбы.

Суточный прирост, показывающий процентное изменение массы рыб за каждые сутки периода, находился на уровне 1,44 %.

Для объективной оценки скорости роста у рыб средней массы тела недостаточно, поэтому используют коэффициент массонакопления, который описывает закономерности роста. Коэффициент массонакопления определяется генетически и зависит от условий выращивания. Значение коэффициента массонакопления в период выращивания молоди сига составило 0,03 ед.

В результате выращивания молоди сига до средней массы 4,73 г кормовой коэффициент стартеровых экструдированных кормов (ЛОСОСЬ ВНИРО: 62/8, 60/9 и 58/12) в зависимости от их белкового и жирового состава колебался 1,59 – 1,97 ед. Повышение эффективности кормления достиглось за счёт ручного кормления, увеличения его частоты и снижения разовой порции корма.

Выживаемость молоди сига за период выращивания составила 83 %. Наибольший процент отхода отмечался на этапе перехода личинки с эндогенного на экзогенное питание 4 % и в период перевода личинки на искусственные корма 10 %.

Клинический и патологоанатомический анализ сига показал, что на кожных покровах язвы, покраснения, опухоли и некротические участки не обнаружены. Кожная слизь была прозрачной, форма глаз не изменена, кровоизлияния на теле отсутствовали. Жаберные лепестки имели характерную окраску, форма и структура не изменены, плавники целые. Внутренние органы были компактными. Печень, сердце и селезёнка цельной структуры, бурого цвета. Желчный пузырь имел желто-зелёный цвет, нормальную наполненность.

Органо-соматические показатели у молоди сига со средней массой тела 4,73 г представлены в таблице 2.

Органо-соматические показатели молоди сига

Показатели	Значение
Гепатосоматический индекс, %	$0,92 \pm 0,03$
Соматический индекс сердца, %	$0,28 \pm 0,01$
Соматический индекс селезёнки, %	$0,093 \pm 0,004$

Гепатосоматический индекс у выращенных рыб составил 0,92 % и находился в диапазоне референсных значений для молоди сига (0,70-1,55 %). Величина печени частично определяет размер накопленных питательных веществ, т.к. этот орган является основным аккумулятором жировых запасов в организме рыб [8]. От количества таких запасов зависит выживаемость особей в изменяющихся условиях [9]. А также печень выполняет важную роль по детоксикации вредных веществ в организме. В связи с тем, что относительная масса печени у молоди сига в 2025 году не увеличена, можно сказать о благоприятных условиях выращивания в УЗВ и использовании рыбоводами качественных и сбалансированных кормов.

Соматический индекс сердца также находился в диапазоне референсных значений для молоди сига (0,02-0,62 %) и составил 0,28 %. В оптимальных условиях выращивания индекс сердца сигов наименьший и связан с уровнем метаболизма рыб [10].

Соматический индекс селезёнки находился на уровне 0,093 %.

Органо-соматические показатели у исследованной молоди сига находились в диапазоне референсных значений, характерных для данной возрастной группы, что свидетельствует об активном росте рыб и пластическом обмене, а также о благоприятных условиях, созданных рыбоводами в период выращивания личинки и молоди в УЗВ.

Заключение

Анализ данных гидрохимического и морфофизиологического контроля, полученных в период выращивания молоди сига в 2025 году, показал невысокий рост массы тела и повышенный отход личинок по сравнению с остальным периодом выращивания в фазе перехода с эндогенного на экзогенное питание и при переводе с живого корма науплий *Artemia salina* на стартовый искусственный экструдированный корм ЛОСОСЬ ВНИРО 62/8 товарной марки «Aquarex». Нахождение температуры воды в бассейнах УЗВ ниже оптимального диапазона также замедляет массонакопление у личинок, в связи с замедлением пластического обмена. Весь период выращивания сига гидрохимические показатели воды в бассейнах УЗВ находились в диапазонах оптимума и благоприятно влияли на рост и развитие личинок и молоди. Молодь успешно достигла стандартных навесок за требуемый период времени, выживаемость была высокой и соответствовала биотехническим показателям по выращиванию молоди сига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шибаев, С. В., Шибаев, Л. В., Малиновский, В. Г. Эффективность искусственного воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus*, L.) Куршского залива Балтийского моря // Рыбное хозяйство. – 2022. – № 4. – С. 81–85.
2. Хлопников, М. М. Состояние запасов рыб и их динамика в Курском и Вислинском заливах Балтийского моря в современных экологических условиях // Гидробиологические исследования в Атлантическом океане и бассейне Балтийского моря : сборник научных трудов. – Калининград : АтланТИРО, 1994. – С. 71–82.
3. Шибаев, Л. В. Эколо-биологические и биотехнические основы воспроизводства сига (*Coregonus lavaretus* L.) Куршского залива Балтийского моря : дис. ... канд. биол. наук. – Калининград : ФГБОУ ВО «КГТУ», 2016. – 160 с.

4. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 30.01.2015 г. № 25 «Об утверждении методики расчета объема добычи (вылова) водных биологических ресурсов, необходимого для обеспечения сохранения водных биологических ресурсов и обеспечения деятельности рыбоводных хозяйств, при осуществлении рыболовства в целях аквакультуры (рыбоводства)» // Зарегистрировано в Минюсте России 20 февраля 2015 г. № 36147.

5. Аксютина, З. М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. – Москва : Пищевая промышленность 1968. – 289 с.

6. Сборник методических рекомендаций по индустриальному выращиванию сиговых рыб для целей воспроизводства и товарной аквакультуры // под ред. А. К. Шумилиной. – Санкт-Петербург : ФГБНУ «ГосНИОРХ», 2012. – 289 с.

7. Роговцов, С. В., Барулин, Н. В., Костоусов, В. Г. Рыбоводно-технологические параметры выращивания сиговых рыб в установках замкнутого водоснабжения // Животноводство и ветеринарная медицина, 2018. – № 2. – С. 18–25.

8. Миттельман, С. Я. К химии и технологии трески и пикши, их печени и жира // Сборник научных промысловых работ на Мурмане. – Москва ; Ленинград : Снабтехиздат, 1932. – С. 113–135.

9. Копориков, А. Р., Богданов, В. Д. Изменение относительной упитанности полупроходного налима (Lotidae) Оби в зависимости от физиологического состояния и условий нагула // Экология. – 2013. – № 3. – С. 210–215.

10. Моисеенко, Т. И. Морфофизиологические перестройки организма рыб под влиянием загрязнения (в свете теории С. С. Шварца) // Экология. – Москва : МАИК Наука, 2000. – № 6. – С. 463–472.

SOME FEATURES OF RAISING JUVENILE SIG (COREGONUS LAVARETUS L.) AT THE SCIENTIFIC AND EXPERIMENTAL BASE OF THE ATLANTIC BRANCH OF THE STATE SCIENTIFIC CENTER OF THE RUSSIAN FEDERATION FGBNU "VNIRO" ("AtlantNIRO") in 2025

¹Shakhova Evgeniya Vladimirovna, Candidate of Biological Sciences,
Assistant professor in Aquatic Bioresources and Aquaculture

²Trofimov Ruslan Valerevich, Head of Aquaculture and Freshwater bodies Sector

¹Federal State Budgetary Educational Institution "Kaliningrad State Technical University",
Kaliningrad, Russia, e-mail: evgeniya.shakhova@klgtu.ru

²Atlantic Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
"Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography",
Kaliningrad, Russia, e-mail: trofimov@atlant.vniro.ru

Abstract. The expansion of juvenile sig release volumes contributes to population recovery and increases the commercial stock of this species in the Baltic Sea. As a result of the analysis of hydrochemical and morphophysiological monitoring data, a slowdown in the weight gain of the larvae and increased mortality were identified compared to the remaining rearing period during the transition from endogenous to exogenous feeding and when switching from live feed (*Artemia salina nauplii*) to the starting artificial extruded feed. A slowdown in mass accumulation was observed in the larvae at water temperatures below optimal levels. The organosomatic indices of the studied juvenile sig were characteristic of this age group, indicating active fish growth and plastic metabolism, as well as favorable conditions created by aquaculture specialists during the rearing of larvae and juvenile sig in recirculating aquaculture systems (RAS).

Keywords: Sig, fry, artificial reproduction, breeding biotechnology, morphophysiology, growth/increment, mass accumulation, organ indices

СЕКЦИЯ «ЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

SECTION "ECOLOGY AND RATIONAL ENVIRONMENTAL MANAGEMENT"

УДК 591.044:594.124;

ГРНТИ 34.47.51

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА В ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКАХ РОССИЙСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

¹Боровкова Александра Дмитриевна, младший научный сотрудник
Лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН

²Донец Максим Михайлович, младший научный сотрудник
Лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН

³Беланов Максим Андреевич, младший научный сотрудник
Лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН

⁴Масалева Кристина Руслановна, младший научный сотрудник
Лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН

⁵Цыганков Василий Юрьевич, д-р биол. наук,
профессор Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология»,
ведущий научный сотрудник Лаборатории геохимии ТИГ ДВО РАН

^{1,2,3,4,5}ФГБУН Тихоокеанский институт географии

Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия,
e-mail: ¹borovkovasdm@yandex.ru, ²maksim.donecz@mail.ru, ³belanov.ma@gmail.com, ⁴masaleva.kr@gmail.com, ⁵tsig_90@mail.ru

⁵ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия,
e-mail: ⁵tsig_90@mail.ru

Аннотация. Представлены данные современных уровней стойких органических загрязняющих веществ (СОЗ) в *Mytilus galloprovincialis* российского побережья Черного моря. Цель – определить уровни и степень трансформации хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в мягких тканях моллюсков. Результаты показали преобладание продуктов распада исходных соединений, что свидетельствует о длительной циркуляции токсикантов в акватории. Наибольшие концентрации ксенобиотиков зафиксированы вблизи устья р. Сочи. Полученные данные подтверждают необходимость мониторинга загрязнения Черного моря СОЗ.

Ключевые слова: стойкие органические загрязняющие вещества, хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, двусторчатые моллюски, Черное море

Введение

На сегодняшний день большую обеспокоенность вызывает увеличивающее загрязнение вод Мирового океана веществами антропогенного происхождения – ксенобиотиками. Одной из больших групп опасных поллютантов являются стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), оказывающие негативное воздействие как на природные сообщества в целом, так и на живые организмы, в том числе человека. СОЗ обладают токсичными свойствами, исключительной стойкостью к разложению под воздействием факторов среды и способностью к трансграничному переносу [1]. За счет своей липофильности токсиканты могут накапливаться в жировых тканях живых организ-

мов и перемещаться выше по пищевым цепям. Даже в малых концентрациях СОЗ способны вызывать ряд заболеваний нервной, сердечно-сосудистой, репродуктивной, гормональной и иммунной систем, а при хроническом поступлении проявлять генотоксические и тератогенные свойства [2, 3]. Наиболее распространеными среди СОЗ являются хлорорганические пестициды (ХОП), применяемые в сельском хозяйстве и санитарно-эпидемиологическом контроле для борьбы с вредителями культур и переносчиками малярии (изомеры ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты), и полихлорированные бифенилы (ПХБ), используемые в промышленности [4].

СОЗ попадают в естественные экосистемы из ряда промышленных источников. Конечным резервуаром поллютантов – моря и океаны, куда они поступают со стоком рек и атмосферными осадками [5, 6]. В целях реализации мониторинга загрязнения морских экосистем в 1990-е гг. стартовала программа "Mussel Watch", направленная на выявление загрязнения морских экосистем приоритетными токсикантами с использованием двустворчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов [7]. Благодаря таким характеристикам, как прикрепленный образ жизни, фильтрующий тип питания, массовость и повсеместная распространенность, двустворчатые моллюски стали одними из наиболее удобных и точных объектов для оценки степени загрязненности прибрежных акваторий по всему миру [8].

Черное море – международный континентальный водоем, выход к которому имеют шесть государств (Россия, Украина, Румыния, Болгария, Турция, Грузия). Система течений и относительная изоляция от других водоемов способствуют накоплению загрязняющих веществ в пределах акватории. Наиболее загрязненными участками являются места впадения крупных рек (Днепр, Днестр, Дунай), несущих стоки с промышленных районов не только расположенных у побережья стран, но и соседствующих с ними государств [9].

В настоящее время проблема загрязнения прибрежных акваторий континентальных морей России, таких как Черное море, стойкими органическими загрязняющими веществами изучена недостаточно и является актуальной для данного региона. Цель исследования – определить уровни и степень трансформации хлорорганических пестицидов (ХОП) и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в мягких тканях моллюсков *Mytilus galloprovincialis* российского побережья Черного моря.

Материалы и методы

Для индикации загрязнения акватории Черного моря СОЗ в исследовании использованы мягкие ткани 101 особи Средиземноморской мидии *Mytilus galloprovincialis*, отобранные с трех станций близ Сочинского маяка в июне 2024 г. (рис. 1).



Рис. 1. Карта мест отбора проб

Массовое содержание хлорорганических соединений в биологических образцах определяли методом газовой хроматографии. Липиды экстрагировали из гомогенатов мягких тканей индивидуальных особей, используя смесь н-гексана и ацетона, с последующим разрушением жировых компонентов концентрированной серной кислотой. Полученный экстракт разделяли на полярную и не-полярную фазы. Среди ХОП в исследованных образцах определяли α -, β -, γ -и δ -ГХЦГ, 4,4'-ДДТ, 2,4'-ДДТ, 4,4'-ДДД, 2,4'-ДДД, 4,4'-ДДЕ и 2,4'-ДДЕ, среди ПХБ – 28, 52, 101, 118, 153 и 138 конгнерины [10]. Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения R 4.2.2 для операционной системы Windows 10. При статистической обработке все образцы с концентрациями ниже предела обнаружения приравнивались к нулю. Наличие достоверных различий оценивали с помощью критерия Краскела-Уоллиса. Представленные в работе концентрации выражены как нг/г липидов.

Результаты и обсуждение

СОЗ обнаружены во всех пробах в пределах от 0,26 до 453,07 нг/г липидов. На всех станциях Σ ХОП (Σ ГХЦГ+ Σ ДДТ) преобладали над Σ ПХБ ($68,58 \pm 72,24$ и $40,00 \pm 54,78$ нг/г липидов соответственно). Среди пестицидов наиболее определяемыми были изомеры ГХЦГ, составляющие $>57\%$ от всех Σ ХОП (табл. 1).

Таблица 1

**Стойкие органические загрязняющие вещества
в мягких тканях *M. galloprovincialis* Черного моря, нг/г липидов**

№ ст.	Липиды, %	Σ ГХЦГ	Σ ДДТ	Σ ПХБ	Σ СОЗ
C-1	$6,24 \pm 0,98$	$125,18 \pm 84,93$	$77,95 \pm 74,75$	$56,79 \pm 45,15$	$66,64 \pm 61,56$
C-2	$12,75 \pm 38,76$	$102,10 \pm 47,58$	$47,23 \pm 57,02$	$21,48 \pm 35,79$	$47,23 \pm 57,02$
C-3	$7,20 \pm 1,74$	$79,08 \pm 53,35$	$63,43 \pm 78,12$	$34,58 \pm 38,83$	$49,29 \pm 63,63$

В общем профиле ксенобиотиков превалировали продукты распада исходных соединений. Качественный состав Σ ГХЦГ показал преобладание β -изомера – наиболее стойкой формы, указывающей на давнее поступление ксенобиотика в акваторию ($180,18 \pm 75,76$ нг/г липидов) [11]. Однако, отмечается присутствие в сравнительно высоких концентрациях γ -ГХЦГ ($106,90 \pm 34,51$), свидетельствующего о недавнем загрязнении (рис. 2). Среди Σ ДДТ доминировали ДДЕ и ДДД метаболиты, средняя концентрация которых составила $33,34 \pm 28,30$ и $18,48 \pm 6,68$ нг/г липидов. Тем не менее, на всех станциях зафиксировано присутствие исходного ДДТ ($20,55 \pm 21,72$ нг/г липидов), свидетельствующего о «свежем» поступлении токсиканта (рис. 2) [11]. Во второй половине XX века, особенно в 1970–1980-х годах, на Черноморском побережье широко применялись ксенобиотики в сельском хозяйстве и санитарной обработке, что привело к значительной пестицидной нагрузке на эту территорию [12]. Речной сток крупных рек, протекающих через густонаселенные и аграрно-промышленные регионы, служит основным источником загрязнения поверхностных вод Черного моря, а их дальнейшее распределение и перенос в глубоководные зоны обусловлены антициклоническим круговоротом, способствующим распространению загрязняющих веществ по всему водоему [13]. В связи с тем, что Россия ратифицировала Стокгольмскую конвенцию и на территории страны действует запрет на производство и использование ХОП, качественный состав пестицидов свидетельствует об «историческом» загрязнении акватории, а присутствие форм токсикантов, указывающих на недавнее поступление ксенобиотиков, может быть обусловлено явлением трансграничного переноса.

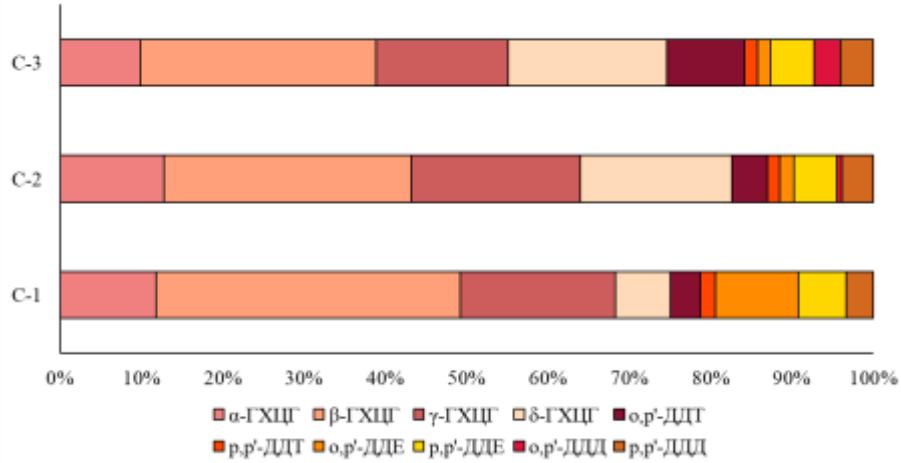


Рис. 1. Качественный состав ХОП в мягких тканях моллюсков Черного моря на исследованных станциях

Σ ПХБ в основном представлены более устойчивыми высокохлорированными формами (рис. 3). Наиболее определяемые конгенеры – ПХБ 118 ($65,53 \pm 37,88$ нг/г липидов), ПХБ 153 ($55,72 \pm 51,61$ нг/г липидов) и ПХБ 138 ($64,41 \pm 50,23$ нг/г липидов). Преобладание пента- и гексахлорированных форм над три- и тетразамещенными бифенилами может указывать на длительную циркуляцию ксенобиотиков в акватории и преимущественно давнее загрязнение Черного моря [1]. Тем не менее, стоит отметить, что ПХБ относятся к категории непреднамеренно производимых соединений и могут выделяться в ходе некоторых производственных процессов как побочный продукт [4], что в значительной степени усложняет контроль поступления токсикантов в среду. Известно, что одним из основных источников ПХБ является судоходство. Черное море является важной транспортной артерией региона, на его побережье расположено несколько крупных портов и промышленных городов [14]. Таким образом, на территории моря присутствуют локальные источники загрязнения ПХБ, что может обуславливать присутствие низкохлорированных конгенеров.

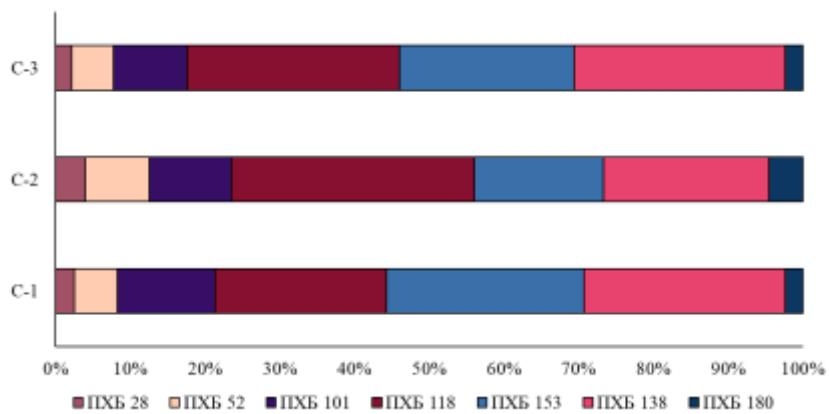


Рис. 3. Качественный состав ПХБ в мягких тканях моллюсков Черного моря на исследованных станциях

Сравнительный анализ накопления СОЗ мягкими тканями моллюсков на исследованных станциях показал, что наиболее высокие концентрации как Σ ХОП, так и Σ ПХБ обнаружены на станции С-1 (рис. 4). Наименьшие уровни пестицидов отмечены в мягких тканях моллюсков, отобранных на станции С-2 (рис. 4). Однако, распределение индивидуальных ХОП являлось неоднородным. Так, концентрации ГХЦГ на Станции 2 превышали таковые на станции 3 (табл. 1), но были ниже данных, полученных на территории С-1 (табл. 1). Концентрация же ДДТ и его метаболитов на С-2 была ниже, чем в других исследованных районах. Наименьшие уровни Σ ПХБ также зафиксированы на С-2 (рис. 4).

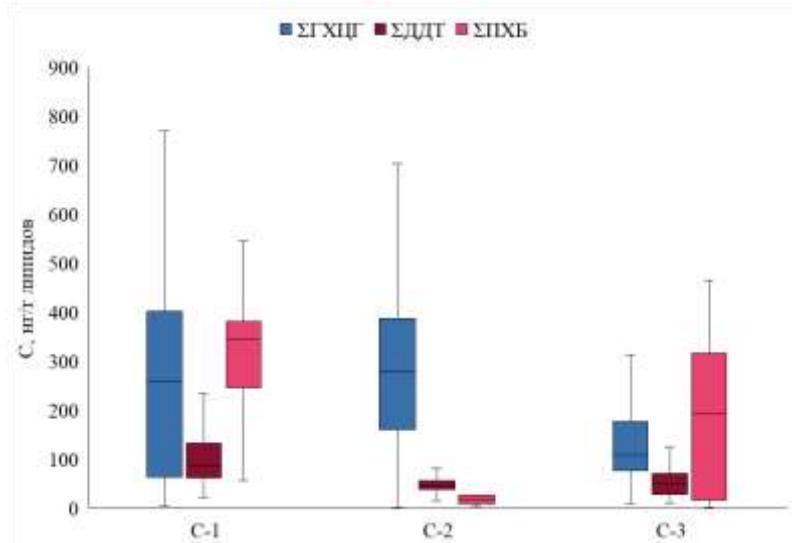


Рис. 4. Уровни $\Sigma\text{ХОП}$ и $\Sigma\text{ПХБ}$ в мягких тканях моллюсков на исследованных станциях Черного моря

Такие результаты могут быть обусловлены особенностями гидродинамических условий Черного моря, способствующими накоплению загрязняющих веществ в акватории, и влиянием р. Сочи, несущей стоки с наиболее густонаселенных районов одноименного города. Тем не менее, стоит отметить, что уровни ХОП на всех станциях имели незначительные различия и максимальные концентрации превышали 400 нг/г липидов.

В целом, полученные результаты были сопоставимы с данными предыдущих исследований накопления СОЗ мягкими тканями моллюсков Черного моря. В ранних работах отмечалось присутствие исходных форм токсикантов [15, 16, 17] – преобладали α - и γ -ГХЦГ, метаболиты о,p'-ДДТ и p,p'-ДДТ. Результаты более поздних исследований свидетельствуют о снижении уровней ксенобиотиков в мягких тканях моллюсков, наиболее определяемые формы представлены в основном продуктами распада пестицидов и высокогохлорированными конгенерами ПХБ [18, 19].

Заключение

Таким образом, результаты исследования накопления СОЗ мягкими тканями двустворчатых моллюсков Черного моря показали продолжающееся загрязнение акватории токсикантами. Среди ХОП на всех станциях отбора преобладали продукты распада исходных соединений (β -ГХЦГ, ДДЕ и ДДД метаболиты), свидетельствующие о длительной циркуляции ксенобиотиков в среде. ПХБ в основном представлены высокогохлорированными конгенерами (ПХБ 118, ПХБ 153, ПХБ 138), что может указывать на давнее поступление токсикантов в акваторию. Тем не менее, до сих пор отмечаются «свежие» формы ксенобиотиков, что может быть обусловлено явлением трансграничного переноса поллютантов.

Сравнительный анализ между исследованными станциями показал, что наиболее высокие уровни $\Sigma\text{СОЗ}$ обнаружены на станции С-1, расположенной близ устья р. Сочи и в большей степени подверженной воздействию ее стока. Наименьшие концентрации ксенобиотиков зафиксированы на станции С-2, что, скорее всего, обусловлено особенностями гидродинамических условий Черного моря. Результаты исследования были сопоставимы с данными ранних работ, проводимых в регионе, и свидетельствуют о постепенном снижении концентраций токсикантов в акватории Черного моря.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Минобрнауки России FZNS-2023-0011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tsygankov, V. The Dirty Dozen of the Stockholm Convention and Other Persistent Organic Pollutants: A Review // Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. – Cham : Springer, 2023. – Pp. 1–48. – DOI: 10.1007/978-3-031-44896-6_1.
2. Kaiser, J., Enserink, M. Treaty Takes a POP at the Dirty Dozen // Science. – 2000. – Vol. 290. – № 5499. – P. 2053. – DOI: 10.1126/science.290.5499.2053.
3. Ngoubeyou, P. S. K., Wolkersdorfer, C., Ndibewu, P. P., Augustyn W. Toxicity of polychlorinated biphenyls in aquatic environments – A review // Aquatic Toxicology. – 2022. – Vol. 251. – P. 106284. – DOI: 10.1016/j.aquatox.2022.106284.
4. El-Shahawi, M. S., Hamza, A., Bashammakh, A. S., Al-Saggaf W.T. An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants // Talanta. – 2010. – Vol. 80. – Pp. 1587–1597. – DOI: 10.1016/j.talanta.2009.09.055.
5. Wenzl, T., Simon, R., Anklam, E., Kleiner, J. Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – 2006. – Vol. 25. – Pp. 716–725. – DOI: 10.1016/j.trac.2005.05.010.
6. Xing, Y., Lu, Y., Dawson, R.W. et al. A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China // Chemosphere. – 2005. – Vol. 60. – Pp. 731–739. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.05.001
7. Tanabe, S. Asia-Pacific Mussel Watch Progress Report // Marine Pollution Bulletin. – 2000. – Vol. 40. – P. 651. – DOI: 10.1016/S0025-326X(00)00019-9.
8. Chahouri, A., Yacoubi, B., Moukrim, A., Banaoui, A. Bivalve molluscs as bioindicators of multiple stressors in the marine environment: Recent advances // Continental Shelf Research. – 2023. – Vol. 264. – P. 105056. – DOI: 10.1016/j.csr.2023.105056.
9. Pokazeev, K., Sovga, E., Chaplina, T. General Oceanographic Characteristics of the Black Sea // Pollution in the Black Sea. – Cham : Springer, 2021. – Pp. 55–63. – DOI: 10.1007/978-3-030-61895-7_3
10. Tsygankov, V., Donets, M. M., Gumovskaya, Y. P. et al. Methods to Determine Persistent Organic Pollutants in Various Components of Ecosystems in the Far Eastern Region // Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. – Cham : Springer, 2023. – DOI: 10.1007/978-3-031-44896-6_2.
11. Боярова, М. Д. Хлорированные углеводороды в гидробионтах залива Посыета Японского моря // Известия ТИНРО. – 2006. – Т. 145. – С. 271–278.
12. Янушевская, Э. Б., Фогель, В. А., Аверьянов, В. Н. Экологические основы развития садоводства на Черноморском побережье // Субтропическое и декоративное садоводство. – 2004. – № 39-2. – С. 569–575.
13. Жерко, Н. В. и др. Хлорорганические соединения в северо-западной части Черного моря // Экология моря. – 2000. – Т. 51. – С. 88–90.
14. Салфетников, Д. А. Индустриальное развитие черноморского округа в начале первой пятилетки // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2012. – № 1. – С. 41–44.
15. Kurt, P. B., Ozkoc, H. B. A survey to determine levels of chlorinated pesticides and PCBs in mussels and seawater from the Mid-Black Sea Coast of Turkey // Marine Pollution Bulletin. – 2004. – Vol. 48. – Pp. 1076–1083. – DOI: 10.1016/j.marpolbul.2003.12.013.
16. Rizov, T., Georgieva, S. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in black mussel and goby from Black Sea, Bulgaria // Scripta Scientifica Medica. – 2010. – Vol. 42. – Pp. 241–244. – DOI: 10.14748/ssm.v42i4.8057.
17. Малахова, Л. В. Хлорорганические соединения в воде и гидробионтах в черноморских прибрежных районах Крыма // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность : Тезисы докладов Международной научной конференции. – Севастополь : ИНБЮМ, 2021. – С. 525–527.
18. Olenycz, M., Sokołowski, A., Niewińska, A. et al. Comparison of PCBs and PAHs levels in European coastal waters using mussels from the *Mytilus edulis* complex as biomonitor // Oceanologia. – 2015. – Vol. 57. – Pp. 196–211. – DOI: 10.1016/j.oceano.2014.12.001.
19. Georgieva, S., Stancheva, M., Makedonski, L., Peteva, Z. Organochlorine compounds (PCBs and DDTs) in seafood from the Black Sea, Bulgaria // Agriculture & Food. – 2016. – Vol. 4. – Pp. 284–291.

PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS IN BIVALVE MOLLUSKS OF THE RUSSIAN BLACK SEA COAST

¹Borovkova Aleksandra Dmitrievna, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry, Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (FEB RAS)

²Donets Maksim Mikhailovich, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry, Pacific Geographical Institute, FEB RAS

³Belanov Maksim Andreevich, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry, Pacific Geographical Institute, FEB RAS

⁴Masaleva Kristina Ruslanovna, Junior Researcher, Laboratory of Geochemistry, Pacific Geographical Institute, FEB RAS

⁵Tsygankov Vasiliy Yurievich, Dr. Sci. (Biology), Professor,

UNESCO International Chair "Marine Ecology", Leading Researcher, Laboratory of Geochemistry, Pacific Geographical Institute, FEB RAS

^{1,2,3,4,5}Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia,

e-mail: ¹borovkovasdm@yandex.ru, ²maksim.donecz@mail.ru, ³belanov.ma@gmail.com,

⁴masaleva.kr@gmail.com, ⁵tsig_90@mail.ru

⁵Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, e-mail: ⁵tsig_90@mail.ru

Abstract. The study presents current levels of persistent organic pollutants (POPs) in *Mytilus galloprovincialis* from the Russian coast of the Black Sea. The aim of the work was to assess the concentrations and transformation degrees of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in the soft tissues of mollusks. The results revealed a predominance of degradation products, indicating long-term circulation of these toxicants in the aquatic environment. The highest pollutant concentrations were recorded near the mouth of the Sochi River. The obtained data underscore the necessity for ongoing monitoring of POP contamination in the Black Sea.

Keywords: persistent organic pollutants, organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, bivalve mollusks, Black Sea

СВЯЗЬ ПЕРЕКРЫТИЯ ВОДОЗАБОРОВ Г. КАЛИНИНГРАДА С ПРОНИКОВЕНИЕМ СОЛОНСОВАТЫХ ВОД В РЕКУ ПРЕГОЛЮ

¹Двоеглазова Надежда Вадимовна, младший научный сотрудник

²Иванов Юрий Валентинович, заместитель начальника ЮВС-2

¹Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,

Москва, Россия, e-mail: ¹nadya2eyes@mail.ru

²Государственное предприятие Калининградской области «Водоканал»,

Калининград, Россия

Аннотация. Было проведено сравнение результатов измерений солёности в контрольной точке в середине устьевого участка реки с данными хлорности на Южной водопроводной станции № 2 (ЮВС-2), подобрана наиболее подходящая из имеющихся формула зависимости величин. Предложена регрессионная зависимость между величинами хлорности на водозаборе и солёности в середине устьевого участка р. Преголи, которая в первом приближении может быть использована для оценки значений хлорности на водозаборе в случае проникновения солоноватых вод.

Ключевые слова: эстуарии, устьевая зона смешения, штормовые нагоны, солёностный клин, интрузии солоноватых вод, водозабор

Введение

Интенсивные нагонные явления перераспределяют воды устья р. Преголи и препятствуют работе водозабора для нужд г. Калининграда. Невозможность осуществить водозабор при длительном (10–20 сут) проникновении солоноватых вод может создавать проблемы с водоснабжением.

Ранее проникновение солоноватых вод в рукав Нижняя Преголя изучалось только в рамках наблюдений АО ИО РАН с помощью натурных натуральных инструментальных наблюдений [1, 2, 3, 4] и моделирования [5, 6]. Статистические данные ГПКО «Водоканал» анализировались обособленно на предмет повторяемости возможных перерывов в водоснабжении [7, 8, 9]. То есть ранее не проводился анализ взаимосвязи гидрологических характеристик совместно в двух точках, различающихся удаленностью от устья.

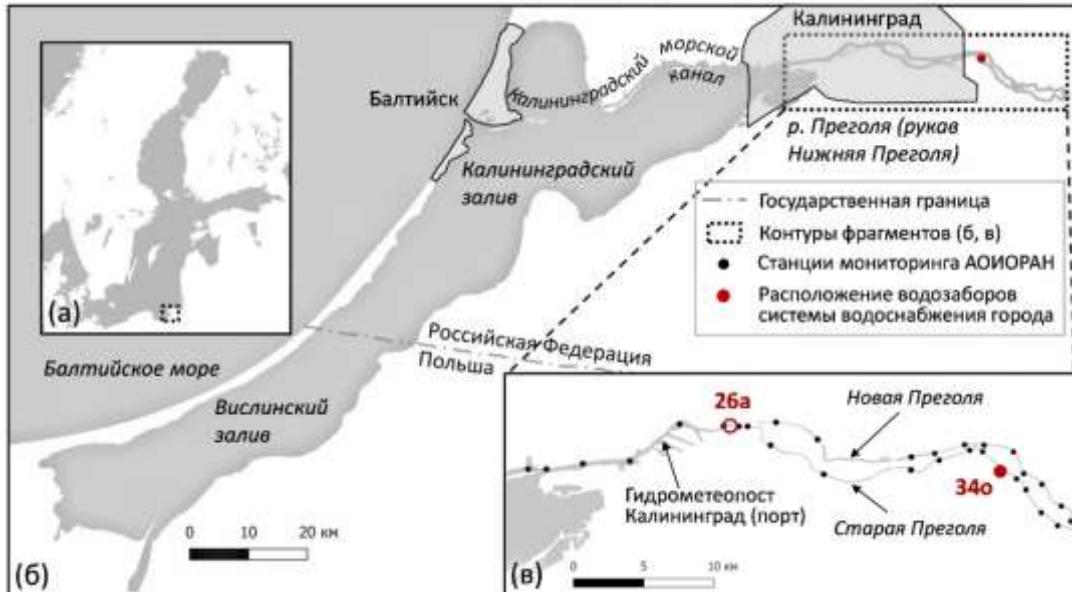
Цель работы – выявить и отобразить в виде формальной зависимости возможную связь между величинами хлорности на ЮВС-2 и солёности в контрольной точке в центре г. Калининграда для последующего применения полученной эмпирической зависимости при нагонах солоноватых вод вверх по реке.

Материалы и методы

В работе используются данные о концентрации хлоридов (ед. изм. – г/л или %) в месте забора воды (глубина 0-1.5 м) ЮВС-2 с 13.07.2020 по 13.02.2024 гг. [10]. Водозабор осуществляется через трубопровод на глубине 1.5 м в русле реки. Отбор проб на хлориды производится рядом с выходом трубопровода из поверхностного слоя воды, либо из подающего трубопровода внутри ЮВС-2.

На ЮВС-2 ГПКО «Водоканал» осуществляется лабораторный анализ проб на содержание хлоридов с целью контроля качества забираемой воды и в соответствие с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 методом титрования азотнокислым серебром [10,11]. Он выполняется с периодичностью от 1 раз/сут (во время постоянных измерений) до 1 раз/ч (учащённые измерения во время проникновения солоноватых вод в реку). Забор воды прекращается, если значения хлорности воды в реке превышают значения 0.350 г/л [10, 11].

В работе использованы данные научного мониторинга Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН [12, 13] со станции возле ЮВС-2 (Старая Преголя, ст. 34о, рис. 1) в даты 30.06.2023, 27.07.2023, 16.08.2023, 13.09.2023, 09.10.2023, 16.10.2023, 27.10.2023, 27.12.2023. Измерения проводились *in-situ* с использованием гидрологического зонда Idronaut Ocean Seven 316Plus Multiparameter Probe (далее - Idronaut). Также в работе использовались ежедневные измерения зондом Idronaut с 07 по 14.08.2023 г. (8 дней) и с 03 по 24.10.2023 г. (21 день) в контрольной точке 26а (рис. 1).



*Рис. 1. Точки наблюдений в пределах устьевого участка реки Преголи (протоки Новая и Старая Преголя, [23] с изменениями):
а – локализация района исследований в юго-восточной части Балтийского моря;
б – устьевая область р. Преголи (Калининградский залив, Калининградский морской канал, устьевой участок Нижней Преголи);
в – расположение точек наблюдения (26а – контрольная точка гидрологических зондирований, 34о – район водозабора системы водоснабжения г. Калининграда).*

Для сопоставления с концентрациями хлоридов значения солёности приводились к той же единице измерения - промилле (‰, количество твердых минеральных растворённых веществ в 1 кг воды) [14].

Единицы измерения промилле для хлорности и солёности неравнозначны, их пересчёт можно осуществлять с помощью формул (1)–(4), где S – солёность, ‰; Cl – концентрация хлоридов, ‰.

$$S\% = 0.030 + 1.8050 Cl\% [15, 16] \quad (1)$$

$$S\% = 1.80655 Cl\% [17, 18] \quad (2)$$

Для акватории Балтийского моря, имеющей невысокую солёность, применяют формулу (3) [15, 19, 20]:

$$S\% = 0.115 + 1.805 Cl\% \quad (3)$$

Для речных вод на примере р. Волги, р. Урал [21] и распреснённых районов Каспийского моря [22] может быть применена формула (4):

$$S\% = 0.14 + 2.36 Cl\% \quad (4)$$

Для сопоставления величин солёности и хлорности были применены все четыре варианта формул (1)–(4). Для подбора альтернативного равенства построена регрессионная зависимость (5) [23].

Результаты и обсуждение

Формула пересчёта хлорности в солёность для реки Преголи

Для выбора наиболее подходящей формулы для связи хлорности и солёности был выполнен анализ трёх проб речной воды в даты 03.02.2024 г., 02.11.2024 г. и 05.11.2024 г. В каждой пробе проводилось измерение солёности зондом Idronaut и хлорности лабораторным методом в ГПКО «Водоканал» (табл. 1).

Таблица 1

Значение хлорности проб Cl_{usx} , полученное на ЮВС-2, результаты расчёта ее солёности S по формулам (1)–(4) (индекс соответствует номеру формулы) и по измерению зондом Idronaut

Дата	ЮВС-2 Рыбное (дополнительные измерения)					Idronaut, ст. 34о
	Cl_{usx} , ‰	S_1 , ‰	S_2 , ‰	S_3 , ‰	S_4 , ‰	
13.02.2024	0.018	0.10	0.03	0.15	0.20	0.2
02.11.2024	1.15	2.1	2.1	2.2	2.9	2.0
05.11.2024	1.8	3.3	3.25	3.4	4.4	3.7

Для пробы воды с низким содержанием хлоридов ($< 1\%$) наиболее подходящей оказалась формула (4) [23], а с высоким ($> 1\%$) – формулы (1), (2) и (3). Если воспользоваться формулой (4) для пересчёта ПДК хлорности (0.350 г/л) в солёность, то величина составит 1.0‰ или 1.0 psu в пересчёт на инструментальные измерения.

Сравнение значений солёности *in-situ* со значениями хлорности на ЮВС-2

Так как результаты измерений одной и той же пробы двумя методами (табл. 1) не смогли определить наиболее подходящую формулу пересчёта, было решено выполнить сравнение другим способом.

В результате параллельных измерений солёности на ст. 34о и лабораторного определения хлорности на ЮВС-2, а также приведения их к единицам солёности промилле (‰) с помощью формул (1)–(4), была получена разница в значениях от 0.003 до 0.38‰ [23]. Некоторая разница в результатах связана с тем, что мониторинг в реке делается всегда на стрежне, а сотрудники водоканала проводят свои отборы вблизи берега.

При концентрациях хлоридов в воде $< 0.5\%$ (т.е. при значениях солёности $< 1.3\%$) наиболее близкие к измеренным зондом значения получаются (рис. 2а) по формуле (4), а другие формулы дают результаты, заниженные на 0.1–0.2‰ (рис. 2). В диапазоне хлорности $> 0.5\%$ (рис. 2а) наиболее близкие значения к тем, что измерены инструментально, дает формула (3), а при расчётах по формуле (4) получаются завышенные значения. С учетом разницы для разных диапазонов (рис. 2), в целом, можно сказать, что формула (3), рекомендованная для Балтики, является наиболее удачной для применения во всем диапазоне значений (0–6‰).

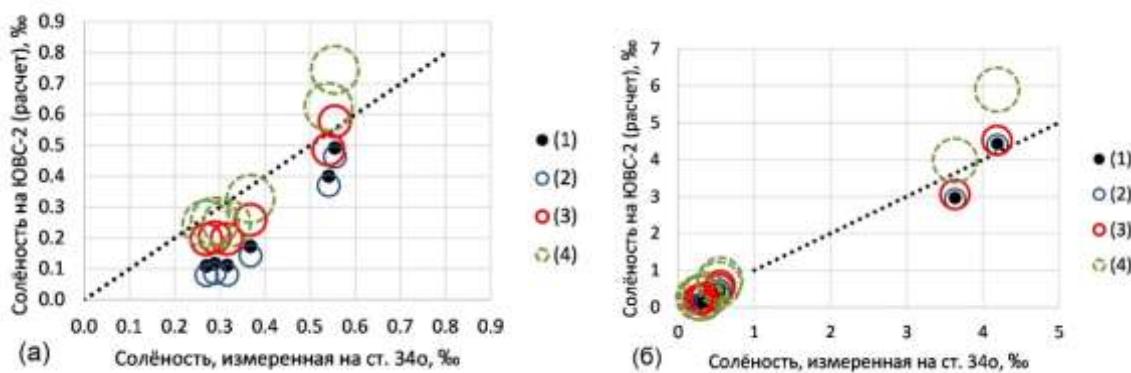


Рис. 2. Визуализация соотношения между значениями солёности, измеренными *in situ* на станции 34о, и рассчитанными с помощью формул (1)–(4) по величине хлорности в пробах на ЮВС-2.

На фрагментах указана главная диагональ, по отношению к которой проводится сопоставление измеренных и рассчитанных значений солёности [23].

На основании имеющихся данных в добавлении к формулам (1)–(4) была построена (рис. 3) пересчётная регрессионная зависимость (5) [23] соответствия величин солёности ($S\%$), полученных инструментальными измерениями, и содержания хлоридов ($Cl_{\text{исх}}\%$) по результатам анализа проб при прямом пробоотборе на водопроводной станции ЮВС-2.

$$S\% = 0.089 + 1.837 Cl_{\text{исх}}\% \quad (5)$$

Она очень мало отличается от формулы (4), но всё-таки, в целом, с меньшей суммарной ошибкой может быть применима во всех диапазонах величин хлорности. Дальнейшее накопление данных таких параллельных измерений позволит улучшить интерполяционную зависимость (5)

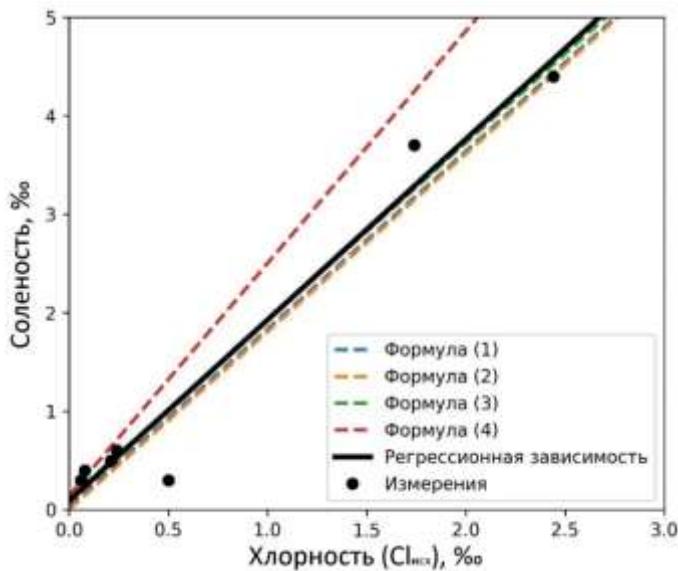


Рис. 3. Регрессионная зависимость между значениями солёности, измеренными зондом Idronaut на стрежне протоки Старая Преголя (ст. 340), и значениями концентрации хлоридов, полученных при пробоотборе на ЮВС-2 [23].

Связь значений солёности в контрольной точке и хлоридов на ЮВС-2 в периоды превышения ПДК по хлоридам

Для всего набора данных **с ростом** (после превышения ПДК) и стабилизацией солёности на высоких значениях в 2023 году построена [23] степенная зависимость (6) и линейные зависимости для августовского (7) и октябряского (8) периодов. Для всего набора данных **со снижением** солёности построена [23] степенная зависимость (9) и линейные зависимости для августовского (10) и октябряского (11) периодов.

$$y = 0.075x^{2.015} \quad (6)$$

$$y = 0.517x - 1.058 \quad (7)$$

$$y = 0.594x - 0.956 \quad (8)$$

$$y = 0.217x^{0.792} \quad (9)$$

$$y = 0.304x - 0.367 \quad (10)$$

$$y = 0.163x - 0.089 \quad (11)$$

где y (%) – значения хлорности на ЮВС-2, x (%) – значения солёности в контрольной точке (26а).

Линейные регрессионные зависимости (7)–(8) и (10)–(11), в отличие от степенных (6) и (9), учитывают задержку при продвижении солоноватых вод вверх по реке и повышают вероятность роста хлорности на водозаборе после превышения значения 1.5‰ в контрольной точке. Такие зависимости могут быть использованы для прогноза – насколько далеко солоноватая вода из устьевого участка реки может продвинуться под влиянием нагонных явлений.

Выводы

Связь между величинами хлорности на ЮВС-2 и солёности (в диапазоне 1–6‰), определяемой по данным гидрофизического зонда наиболее точно [23] выражается формулой (3), рекомендованной ранее для Балтийского моря [15, 19, 20].

Установлена [23] регрессионная зависимость между величинами хлорности на ЮВС-2 и солёности в контрольной точке 26а (т.е. в середине устьевого участка реки Преголи). Она рекомендуется к использованию для оценки значений хлорности на ЮВС-2 при нагонах солоноватых вод вверх по реке, а также в случае возврата к обычной ситуации стока.

По мере накопления новых данных должно проводиться уточнение составленных [23] зависимостей, учитывая разные фоновые условия и действие разных механизмов проникновения солоноватых вод.

Благодарности

Сбор, анализ и интерпретация натурных данных выполнялись за счёт госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Авторы выражают благодарность сотрудникам Калининградского управления Северо-Западного бассейнового филиала «Росморпорта», оказавшим содействие при проведении работ, сотрудникам «Водоканала», оказавшим поддержку на этапе сбора натурных данных, а также коллегам к.ф.-м.н. Б. В. Чубаренко (АО ИО РАН) за критические замечания и рекомендации, к.г.н. А.В. Килесо (АО ИО РАН) и С.Н. Красильникову (АО ИО РАН) за помощь в проведении инструментальных измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чубаренко, Б. В., Шкуренко, В. И. Физические механизмы проникновения соленых вод вверх по реке Преголе с учетом влияния рельефа дна // Физические проблемы экологии (экологическая физика). – 2001. – № 7. – С. 80–88.
2. Домнин, Д. А., Пилипчук, В. А., Карманов, К. В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстuarной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные технические науки. – 2013. – № 6. – С. 206–211.
3. Chubarenko, B., Domnin, D., Navrotskaya, S., Stont, Zh., Chechko, V., Bobykina, V., Pilipchuk, V., Karmanov, K., Domnina, A., Bukanova, T., Topchaya, V., Kileso, A. Transboundary Lagoons of the Baltic Sea // R. Kosyan (ed.) The Diversity of Russian Estuaries and Lagoons Exposed to Human Influence. Switzerland : Springer Verlag. – 2017. – Pp. 149–191. – DOI: 10.1007/978-3-319-43392-9_6.
4. Boskachev, R. V., Chubarenko, B. V. Bottom Intrusions of Brackish Water from the Vistula Lagoon into the Downstream Pregolya Branch. Water Resources. – 2025. – Vol. 52. – № 1. – Pp. 102–116.
5. Беликов, В. В., Милитеев, А. Н. Численная модель морских нагонов в приустьевых участках рек // Сборник научных трудов КаГУ. – Калининград, 1993. – С. 15–23.
6. Домнин, Д. А., Соколов, А. Н. Особенности и закономерности затока солоноватых масс в лагунно-эстuarной системе Калининградский залив – Преголя – Куршский залив посредством данных контактных измерений и моделирования // Известия КГТУ. – 2014. – № 35. – С. 11–20.
7. Маркова, Л. В., Наумов, В. А. Качество воды, поступающей из реки Преголи на Южную водопроводную станцию города Калининграда // Водохозяйственные проблемы региона. Сб. науч. тр. / Отв. ред. В. А. Наумов. – Калининград : Калининградский государственный технический университет, 2016. – С. 60–67.
8. Маркова, Л. В. Анализ качества воды на Южной водопроводной станции города Калининграда // Вестник молодежной науки. – 2016. – № 5 (7). – С. 7.
9. Великанов, Н. Л., Наумов, В. А., Маркова, Л. В. Изменчивость качества воды реки Преголя // Вода: химия и экология. – 2016. – № 8 (98). – С. 82–88.
10. ГПКО «Водоканал». Государственное предприятие Калининградской области «Водоканал» (ГП КО «Водоканал»). – URL: <https://www.vk39.ru/o-vodokanale/vodosnabzhenie/> (дата обращения: 04.026.2024).
11. СанПиН 1.2.3685-21 Постановление об утверждении санитарных правил и норм «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – Москва, 2021. – 469 с.

12. Двоеглазова, Н. В., Чубаренко, Б. В. Изменения в структуре гидрологических характеристик устьевой зоны смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) в период осеннего осолонения // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 74. – С. 87–104. – DOI: 10.33933/2713-3001-2024-74-87-104.
13. Чубаренко, Б. В., Двоеглазова, Н. В., Боскачёв, Р. В., Шушарин, А. В. . Пространственно-временна́я изменчивость гидрологических характеристик в зоне смешения реки Преголи (Юго-Восточная Балтика) и методические подходы к ее изучению // Океанологические исследования. – 2024. – № 52 (1). – С. 157–176. – DOI:10.29006/1564-2291.JOR-2024.52(1).8.
14. IOC, SCOR and IAPSO. The international thermodynamic equation of seawater – 2010. Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographyc Comission, Manuals and Guides. – UNESCO (English). – 2010. – № 56. – 196 р.
15. Михайлов, В. Н., Добролюбов, С. А. Гидрология : учебник для вузов. – Москва; Берлин : Директ-Медиа. – 2017. – 752 с.
16. Архипкин, В. С., Добролюбов, С. А. Океанология: основы термодинамики морской воды : учебное пособие для вузов / 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2024. – 155 с. // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/539264> (дата обращения: 20.02.2024).
17. Океанографические таблицы. – Ленинград : Гидрометиздат. – 1975. – 477 с.
18. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. – Санкт-Петербург : Росгидромет, 1992. – 265 с.
19. Жуков, Л. А. Общая океанология / под. ред. Ю. П. Доронина. – Ленинград : Гидрометиздат. – 1976. – 376 с.
20. Шамраев, А. В., Шишкина, Л. А. Океанология : учебник для гидрометеорол. техникумов / под ред. А. В. Некрасова, И. П. Карповой. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1980. – 382 с.
21. Михайлов, В. Н. Гидрология устьев рек. – Москва : Издательство МГУ. – 1998. – 176 с.
22. Михайлов, В. Н., Михайлова, М. В., Магрицкий, Д. В. Основы гидрологии устьев рек : учебное пособие. – Москва : РИУМФ, 2018. – 314 с.
23. Двоеглазова, Н. В., Чубаренко, Б. В. Проникновение клина солоноватых вод в реку Преголю как причина перекрытия водозаборов г. Калининграда // Водные ресурсы. – 2025. – Т. 52. – № 3. – С. 3–17. – DOI: 10.31857/S0321059625030018.

THE CONNECTION BETWEEN THE PENETRATION OF BRACKISH WATER INTO THE PREGOLYA RIVER AND THE BLOCKING OF WATER INTAKES IN KALININGRAD

¹Dvoeglazova Nadezhda Vadimovna, Junior researcher

²Ivanov Yuriy Valentinovich, Deputy Head of the SVS-2

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,

Moscow, Russia, e-mail: ¹nadya2eyes@mail.ru

²State Enterprise "Vodocanal"

Abstract. The results of salinity measurements at the control point in the middle of the river mouth section were compared with the chlorine data at the water intake, and the most suitable formula for the dependence of the values was selected. A regression dependence between the chlorine values at the water intake and the salinity in the middle of the Pregolya River mouth section was proposed, which, as a first approximation, can be used to estimate the chlorine values at the water intake in the case of brackish water penetration.

Keywords: estuaries, mixing zone, storm surges, salinity wedge, brackish water intrusions, water supply

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ УДЕРЖАНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЁМОВ РЕКИ ПРЕГОЛИ

¹Килесо Александр Владимирович, канд. геогр. наук, доцент

²Дикий Дмитрий Игоревич, канд. техр. наук, научный сотрудник

³Домнин Дмитрий Александрович, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник

¹Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта,
Высшая школа компьютерных наук и искусственного интеллекта,
Калининград, Россия, e-mail: ¹aleksandr.kilesos@gmail.com

^{2,3}Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Москва, Россия

Аннотация. Методом математического моделирования оценена возможность по удержанию взвешенных частиц и микропластика пойменными водоёмами реки Преголи, и сделан вывод о наличии значительного удерживающего потенциала. Использованы модели SHYFEM и TrackMPD. Модельные оценки времени задержки вод в пойменных водоёмах дают величины от единиц дней до первой сотни дней в зависимости от степени изолированности этих водоёмов. Поведение частиц трассера, имитирующих частицы микропластика (схожие размерные и плотностные характеристики), показало, что в течение 30 дней частицы «проникли» во все пойменные водоёмы. Почти все они «оттягивали» на себя примерно по 10 % частиц, транспортируемых мимо проток, связывающих эти водоёмы с основным руслом Преголи.

Ключевые слова: моделирование, гидродинамика, перенос примесей, микропластик, Балтийское море

Введение

Калининградская область имеет развитую гидрологическую систему, состоящую из сети водотоков и водоёмов различного происхождения. Крупнейшими реками являются Неман, Матросовка, Преголя, Дейма, а крупнейшее озеро – Виштынецкое [1]. Кроме них, важную роль играют малые водоёмы – озёра, пруды, обводнённые карьеры [2].

Устьевой участок реки Преголи, а именно его рукав Нижняя Преголя имеет малый уклон (порядка 1 см/км). Естественное течение реки нарушается во время ветровых нагонов, когда происходит проникновение солоноватых вод из Калининградского залива вверх по руслу, которое, в принципе, может доходить до точки бифуркации русла в Гвардейске, точки ответвления рукава Дейма (до 56 км выше устья) [3]. Такие обратные течения могут способствовать некоторому удержанию взвешенных частиц на их пути с водосборного бассейна вниз в сторону приёмного водоёма. Но существенно более значимую роль в процессе удержания могут играть расположенные на участке выше 29 км от устья пойменные водоёмы различного размера и происхождения (озёра, старицы, обводнённые карьеры), соединённые с руслом и между собой протоками.

Цель работы – оценить методами математического моделирования гидродинамические условия в пойменных водоёмах реки Преголи и возможности этих водоёмов по удержанию взвешенных частиц и микропластика на пути их транспорта с водосбора в приёмный водоём.

Материалы и методы

Моделирование гидродинамических процессов в русле реки Преголи и сопряженных пойменных водоёмах было выполнено на основе трехмерной конечно-элементной модели SHYFEM [4]. Выбор данной модели обусловлен применением полунеявного алгоритма для временного интегрирования, который сочетает в себе вычислительную эффективность явных схем и устойчивость неявных.

Расчётная область охватывает участок реки протяжённостью приблизительно 15 км и включает всю комплексную систему пойменных водоёмов (рис. 1). Очертания береговой линии были оцифрованы по спутниковым снимкам. Батиметрическая основа модели построена по данным эхолотных промеров, полученных в ходе экспедиционных работ Атлантического отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН (АО ИО РАН).

Для адекватного описания сложной геометрии акватории была построена неструктурированная сетка из треугольных элементов. Пространственное разрешение сетки варьировалось в диапазоне от 10 до 100 метров в зависимости от морфометрических особенностей русла и поймы. Для описания вертикальной структуры модельного пространства использовалось 8 z-слоёв: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 18 м. На двух открытых границах модельной области (вверху и внизу по течению) был задан постоянный расход воды, принятый равным 10 м³/с.

Для определения потенциальных мест удержания взвешенных частиц и микропластика на пути их транспорта с водосбора в приёмный водоём для всех участков модельного пространства выполнялся расчёт времени задержки (WRT – Water Residence Time). В основе расчёта шкалы времени задержки (WRT) лежит Эйлеров подход. Данная шкала характеризует время, требуемое для спадания в каждой ячейке и на каждом z-слое расчётной сетки концентрации пассивного трансформера (первоначально помещённого в водоём) до 1/3 от первоначальной.

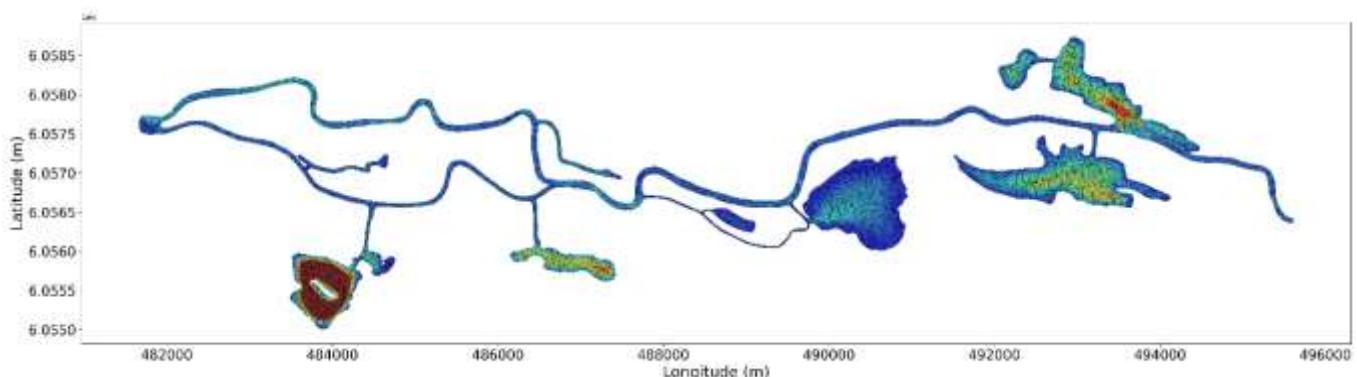


Рис. 1. Карта-схема модельного пространства участка реки Преголи с присоединёнными пойменными водоёмами. Цветовая шкала описывает батиметрию данного района

Для моделирования движения/перемещения частиц в толще воды на данный момент разработано несколько инструментов. Одним из таких инструментов является программное обеспечение TrackMPD [5]. Одним из основных преимуществ является открытый исходный код, что позволяет развивать его под возникающие нужды. Данное программное обеспечение использовалось нами так же и по следующим причинам: оно даёт возможность моделировать несколько частиц за один расчёт, имеет удобные настройки и параметры, в нём также легко обрабатывать полученные результаты.

TrackMPD – это математическая модель, которая позволяет построить траекторию движения частиц микропластика в океанах и прибрежных системах. Данное программное обеспечение способно работать с различными гидродинамическими моделями. Моделирование построено на уравнениях Лагранжа с добавлением свойств адвекции-диффузии, более сложных и реалистичных физических процессов, которые могут быть индивидуально настроены в зависимости от области применения. TrackMPD позволяет настроить такие сценарии как: выбрасывание на берег, смывание, деградацию, биообрастание, погружение и осаждение. Также настраиваются такие параметры как плотность воды, размеры частиц, их форма и т.д., что позволяет обеспечить более точное моделирование процесса.

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования для сценариев в условиях полного штиля показали, что движение воды происходит исключительно в пределах основного русла реки Преголи. Акватории сопряжённых пойменных водоёмов характеризуются полным отсутствием динамики, а также какой-либо связи с руслом реки, что исключает процессы водообмена между этими элементами системы.

Моделирование для сценария с северным ветром (5 м/с, рис. 2) показало формирование сложной картины течений на участке реки Преголи и в пойменном водоёме. Ветровое воздействие сформировало устойчивую циркуляцию в водоёмах и обеспечило их активную связь с руслом реки, что кардинально отличает данную ситуацию от условий штиля.



Рис. 2. Поле течения для участка реки Преголи и сопряженного пойменного водоёма для расчётного сценария при северном ветре со скоростью 5 м/с.

Оценка времени задержки (WRT) позволила количественно оценить динамику обновления водных масс для каждого из исследуемых водоёмов (рис. 3). Установлено, что для акваторий, непосредственно прилегающих к основному руслу реки, характерно короткое время водообмена, составляющее от 1 до 10 суток. В то же время, для изолированных (закрытых) участков данный показатель значительно возрастает, достигая значений от 50 до 100 суток.

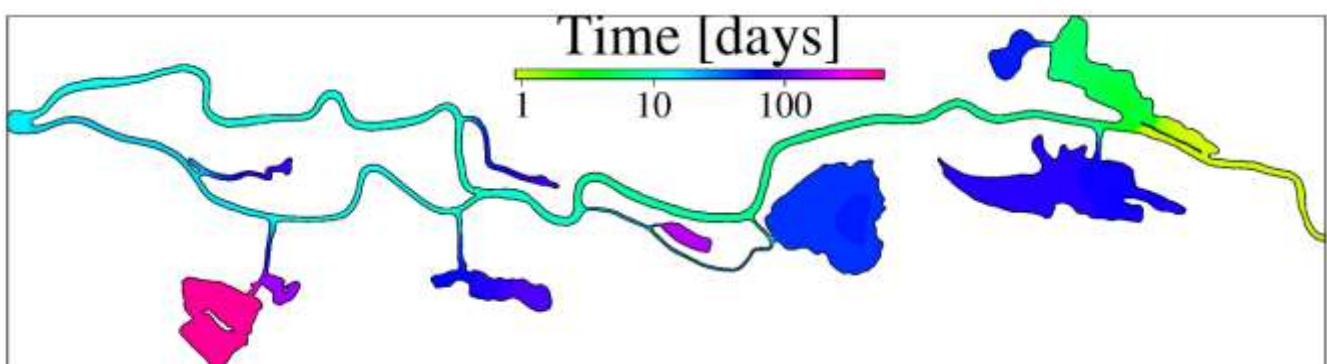


Рис. 3. Время водообмена (WRT) для расчётного сценария с северным ветром (5 м/с). Цветовая шкала характеризует время обновления воды для различных участков модельного пространства в днях

Модельный эксперимент по транспорту частиц (в течение 30 дней с шагом расчёта 5 минут) с характеристиками, аналогичными частицам микропластика (3-мерные, плотность от 0.9 до 1.1 г/см³, диаметром 0.5–5 мм) проиллюстрировал их проникновение и безвозвратное нахождение в пойменных озёрах с активным вовлечением в циркуляционные движения в их акватории (рис. 4). Каждый пойменный водоём «оттягивал» на себя примерно по 10 % частиц, транспортируемых мимо протоки, связывающей водоём с основным руслом Преголи.



Рис. 4. Траектории частиц в течение времени расчёта (30 дней).

Выводы

В штилевых условиях водообмен между руслом Преголи и пойменными озёрами исключительно слабый. Активный водообмен возникает только под воздействием на водную поверхность трения ветра, когда в самих озёрах возникает значимая динамика.

Модельные оценки времени задержки вод в пойменных озёрах дают величины от единиц дней до первой сотни в зависимости от степени изолированности озёр. Различия между временами обусловлены разницей в морфометрических характеристиках озёр (глубина и площадь поверхности), а также гидравлическим сопротивлением проток, связывающих озёра с руслом Преголи. Чем уже и мельче протока – тем более затруднён водообмен.

Поведение частиц трассера, имитирующих частицы микропластика (схожие размерные и плотностные характеристики), показало, что в течение 30 дней частицы «проникли» во все пойменные водоёмы. За исключением самого восточного хорошо проточного озера все остальные озёра «оттягивали» на себя примерно по 10 % частиц, транспортируемых мимо проток, связывающих водоёмы с основным руслом Преголи.

В целом, проведённые предварительные расчёты показали наличие значительного удерживающего потенциала у изучаемой системы пойменных водоёмов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 24-44-20027, <https://rscf.ru/project/24-44-20027/>. Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Б. В. Чубаренко (АО ИО РАН) за критические замечания и конструктивные рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов, Н. Л., Проскурнин, Е. Д. Калининградская область: особенности использования водных ресурсов. – Калининград : Янтарный сказ, 2003. – 128 с.
2. Домнин, Д. А., Михневич, Г. С., Вершинин, Д. С., Карманов, К. В., Гмыря, Е. И. Условия взаимодействия морских и пресных вод в системе прибрежных обводненных карьеров Юго-Восточной Балтики // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2023. – Т. 165. – Кн. 3. – С. 467–485. – DOI: 10.26907/2542-064X.2023.3.467-485.

3. Боскачёв, Р. В., Чубаренко, Б. В. Придонные интрузии солоноватой воды из Калининградского залива в рукав Нижняя Преголя // Водные ресурсы. – 2025. – Т. 52. – № 1. – С. 18–35.

4. Umgiesser, G., Canu, D. M., Cucco, A., Solidoro, C. A finite element model for the Venice Lagoon. Development, set up, calibration and validation // Journal of Marine Systems, Vol. 51. – Issues 1–4. – 2004. – Pp. 123–145.

5. Jalón-Rojas, I., Wang, X. H., Fredj, E. A 3D numerical model to Track Marine Plastic Debris (TrackMPD): Sensitivity of microplastic trajectories and fates to particle dynamical properties and physical processes. // Marine Pollution Bulletin. – Vol. 141. – 2019. – Pp. 256–272.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF RETAINING SUSPENDED PARTICLES IN THE FLOODPLAIN WATER SYSTEM OF THE PREGOLYA RIVER

¹Kileso Aleksandr Vladimirovich, Associate Professor

²Dikiy Dmitry Igorevich, Research Fellow

³Domnin Dmitry Aleksandrovich, Senior Research Fellow

¹Immanuel Kant Baltic Federal University,
Graduate School of Computer Science and Artificial Intelligence, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹aleksandr.kileso@gmail.com

^{2,3}Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Using mathematical modeling, the retention capacity of suspended particles and microplastics in the floodplain waters of the Pregolya River was assessed, concluding that they possess significant retention potential. The SHYFEM and TrackMPD models were used. Model estimates of water retention time in floodplain water bodies range from a few days to several hundred days, depending on the degree of isolation of these water bodies. The behavior of tracer particles simulating microplastic particles (similar size and density characteristics) showed that within 30 days, the particles had “penetrated” all floodplain water bodies. Almost all of them “pulled” onto themselves approximately 10 % of the particles transported past the channels connecting these reservoirs with the main channel of the Pregolya.

Keywords: modeling, hydrodynamics, transport of contaminants, microplastics, Baltic Sea

ОРГАНИЗАЦИЯ БИОМОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹Кипер Александр Викторович, доктор технических наук, профессор

²Фадеев Андрей Витальевич, кандидат технических наук

³Давлюд Игорь Игоревич, кандидат технических наук

^{1,2,3}ФГКВОУ ВО «Балтийское высшее военно-морское училище

имени адмирала Ф. Ф. Ушакова» Министерства обороны Российской Федерации,
Калининград, Россия, e-mail: ²andrey.fadeev_93@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются теоретические и практические аспекты организации системы биомониторинга на предприятиях и в зонах размещения объектов, представляющих потенциальную опасность для окружающей среды и населения. Описываются цели и задачи биомониторинга, включающие раннее выявление отклонений от нормы в состоянии биологических индикаторов, оценку воздействия комплексных техногенных нагрузок и прогноз динамики экологических рисков. Предложена методологическая схема построения многоуровневой системы: от отбора биоиндикаторов и разработки протоколов отбора проб до обработки данных и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: биомониторинг, потенциально опасные объекты, окружающая среда, биоиндикация

Введение

Развитие промышленности, расширение транспортной инфраструктуры и интенсификация сельскохозяйственной деятельности приводят к увеличению числа объектов, способных оказывать негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека. Непредсказуемые аварии, хронические выбросы загрязняющих веществ и накопление токсичных соединений в среде обитания создают высокую степень экологической неопределенности. В этой связи биомониторинг выступает эффективным инструментом управления экологическими рисками, позволяя выявлять ранние сигналы о неблагополучии задолго до достижения критических значений загрязнений [1].

Организация биомониторинга включает многокомпонентный подход, в основе которого лежит выбор биологических индикаторов, чувствительных к определённым классам загрязнителей (тяжёлым металлам, пестицидам, нефтепродуктам и др.). Выбранные индикаторы могут представлять собой отдельные виды микроорганизмов, растения, беспозвоночные или определённые биохимические маркеры в тканях животных и человека. Ключевыми этапами являются:

- определение зон функционального влияния объекта и установление границ мониторинга;
- разработка протоколов отбора проб и единых методик полевых и лабораторных исследований;
- автоматизация процессов учёта и обработки результатов через использование цифровых платформ и систем дистанционного зондирования;
- формирование системы анализов риска и принятие корректирующих мер на основании полученных данных.

Цель исследования – разработка целостной методологии организации биомониторинга потенциально опасных объектов с учётом современных технологических возможностей и требований законодательства. Введение предлагаемой методологической схемы позволит повысить эффективность раннего предупреждения экологических аварий, снизить расходы на ликвидацию последствий и улучшить качество принятия решений в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической защиты населения.

Научная новизна заключается в формировании теоретического подхода к разработке интегрированной системы автоматического оперативного мониторинга в режиме непрерывного контроля.

Такая система обеспечит раннее выявление вредных воздействий на экологию окружающей среды и снижение времени реакции служб экстренного реагирования.

Организация биомониторинга для оценки воздействия потенциально опасных объектов

Современное развитие индустрии расширяет антропогенную нагрузку на окружающую природную среду (ОПС), что существенно актуализирует задачи экологического мониторинга (ЭМ). Частые аварии на промышленных объектах, хронические эмиссии и накопление токсичных соединений приводят к постепенному ухудшению качества водных и почвенных экосистем, что в конечном итоге оказывается на здоровье населения и биоразнообразии регионов. Традиционные методы контроля концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) зачастую фиксируют нарушение экологической безопасности уже после достижения критических порогов. В этом контексте биомониторинг, основанный на использовании живых индикаторов, позволяет получать интегральную картину состояния экосистем и своевременно выявлять ранние сигналы опасности. Внедрение многоуровневой системы биомониторинга на потенциально опасных объектах (ПОО) способно значительно повысить оперативность и точность экологического контроля, что особенно важно в условиях растущего промышленного и сельскохозяйственного давления [1].

Биомониторинг представляет собой метод оценки состояния ОПС, основанный на анализе реакции живых организмов в качестве индикаторов загрязнителей. Он играет ключевую роль в выявлении загрязнений и оценке воздействия ПОО на экосистемы и здоровье людей. В условиях растущей индустриализации техники важность биомониторинга становится все более актуальной.

Основной целью биомониторинга является определение состояния и выявление возможных загрязнений ОПС. Для этого необходимо выполнить ряд организационных моментов (рисунок 1), которые состоят из:

- определения ПОО для осуществления мониторинга;
- выбор методов сбора данных биомониторинга;
- выбор методов биомониторинга;
- анализа данных мониторинга;
- оценка состояния экосистемы.

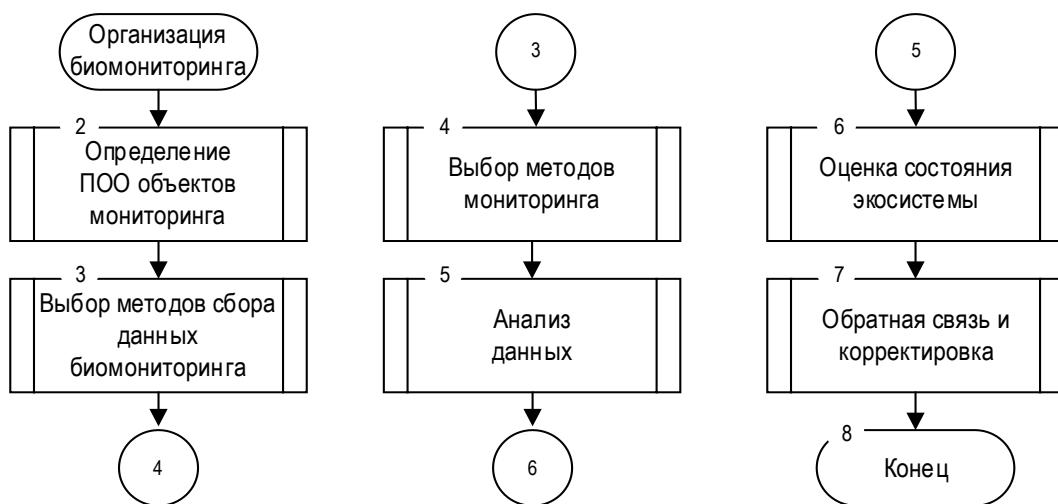


Рис. 1. Организация биомониторинга

Биологические индикаторы, такие как растения, животные и микроорганизмы, используются для оценки состояния ОПС. Методы сбора данных (рисунок 2) включают полевые исследования, лабораторные анализы и дистанционные методы анализа.

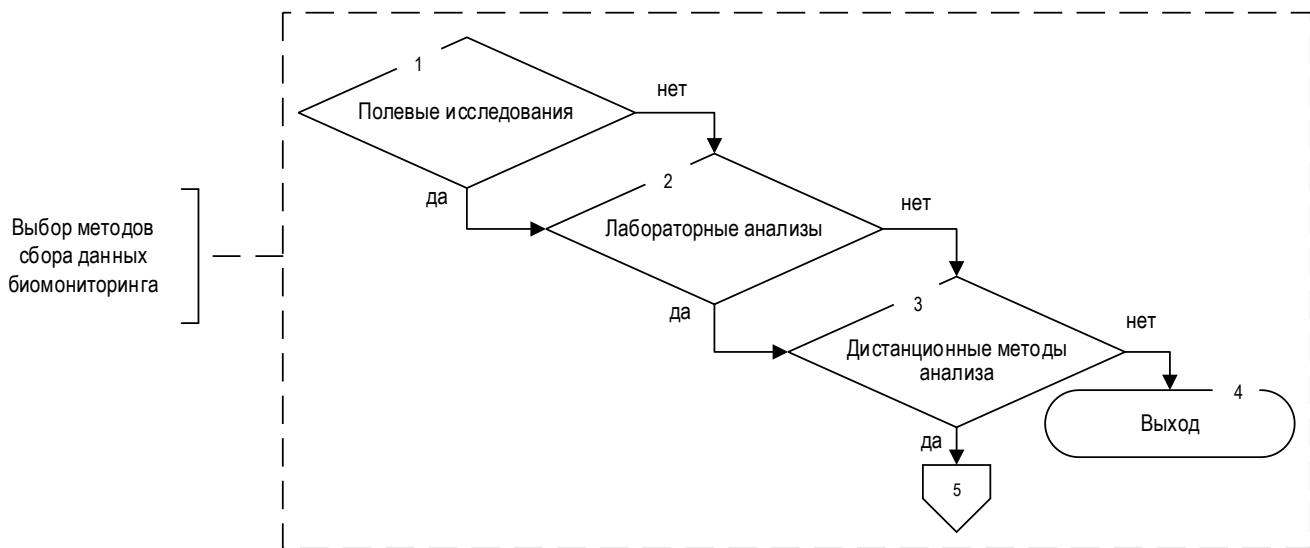


Рис. 2. Блок-схема метода сбора данных биомониторинга

Пояснения обозначений, принятых в данной блок-схеме, приведены в таблице 1.

**Таблица 1
Обозначения, принятые в блок-схеме метода сбора данных биомониторинга**

Номер блока элемента	Обозначение
1	Полевые исследования включают в себя: – отбор проб для последующего лабораторного анализа; – биоиндикация, путем использования живых организмов для оценки уровня загрязнения; – экспресс-анализ (тест-полоски, портативные газоанализаторы или дозиметры)
2	Лабораторные анализы включают в себя: – химический анализ (хроматографию, спектрофотометрию и атомно-абсорбционную спектроскопию); – микробиологический анализ для выявления патогенов в воде и почве; – токсикологические тесты для оценки влияния загрязнителей на живые организмы
3	Дистанционные методы анализа включают в себя: – спутниковый мониторинг для отслеживания изменений в окружающей среде (вырубка лесов, загрязнение водоемов и состояние атмосферы); – аэрофотосъемка для оценки антропогенного воздействия на ландшафты; – геоинформационные системы (ГИС) для анализа пространственных данных, связанных с состоянием ОПС
4	Завершение процесса
5	Переход к выбору методов биомониторинга

В дополнение к этим трем основным категориям, существуют также методы, основанные на пассивном и активном биомониторинге. Пассивный биомониторинг изучает воздействие загрязнителей на биоиндикаторы в естественной среде, в то время как активный биомониторинг использует стандартизованный биологический материал, подвергаемый воздействию в определенных условиях

Выбор методов биомониторинга (рисунок 3) зависит от целей исследования, типа объекта мониторинга (водная, воздушная, почвенная среда) и доступных ресурсов.

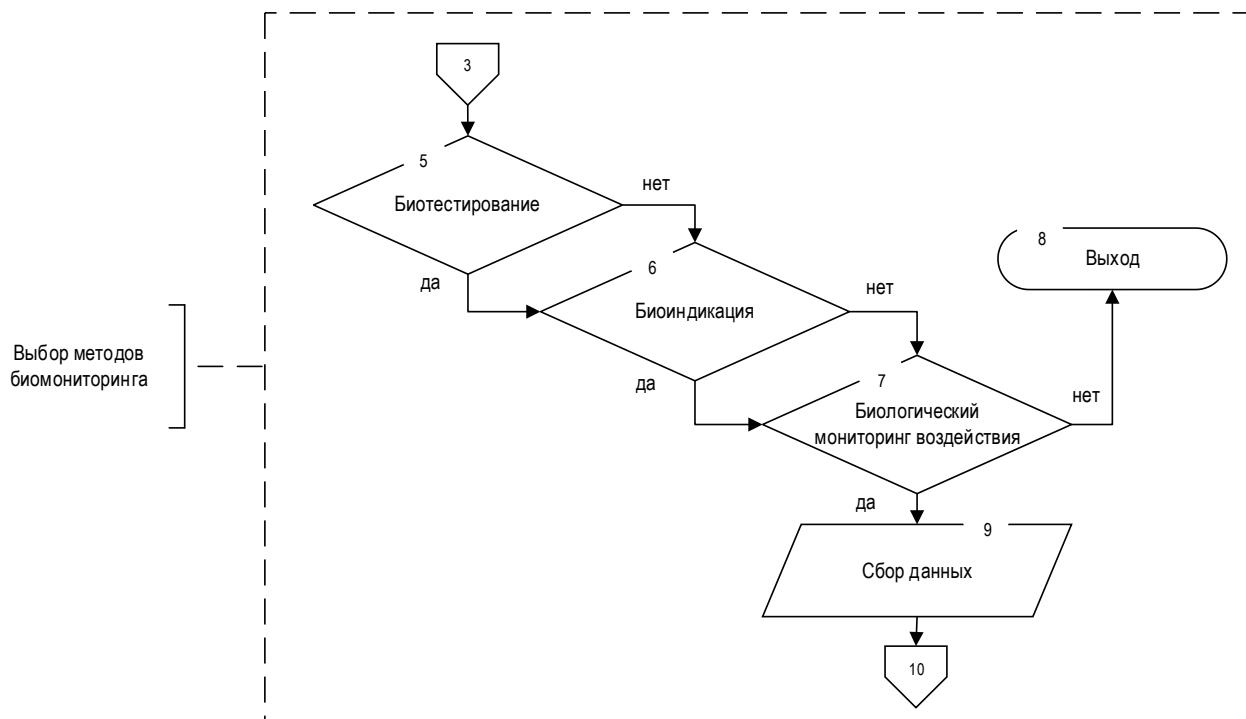


Рис. 3. Блок-схема метода биомониторинга

Пояснения обозначений, принятых в данной блок-схеме, приведены в таблице 2.

Обозначения, принятые в блок-схеме метод биомониторинга

Таблица 2

Номер блока элемента	Обозначение
5	Экспериментальное определение токсичности веществ с использованием тест-организмов в контролируемых условиях. Оценивается реакция организмов на определённые вещества, такие как изменение физиологических показателей, рост, развитие и выживаемость
6	Метод оценки состояния окружающей среды, включая как естественные процессы, так и антропогенные воздействия, путем изучения реакций живых организмов
7	Метод оценки воздействия различных факторов (например, загрязнителей окружающей среды) на живые организмы, включая человека
8	Завершение процесса
9	Сбор данных о состоянии окружающей природной среде
10	Переход к анализу данных

После сбора информации о состоянии ОПС выполняется ее анализ (рисунок 4), результаты которого включают в том числе и оценку воздействия загрязняющих веществ на флору и фауну.

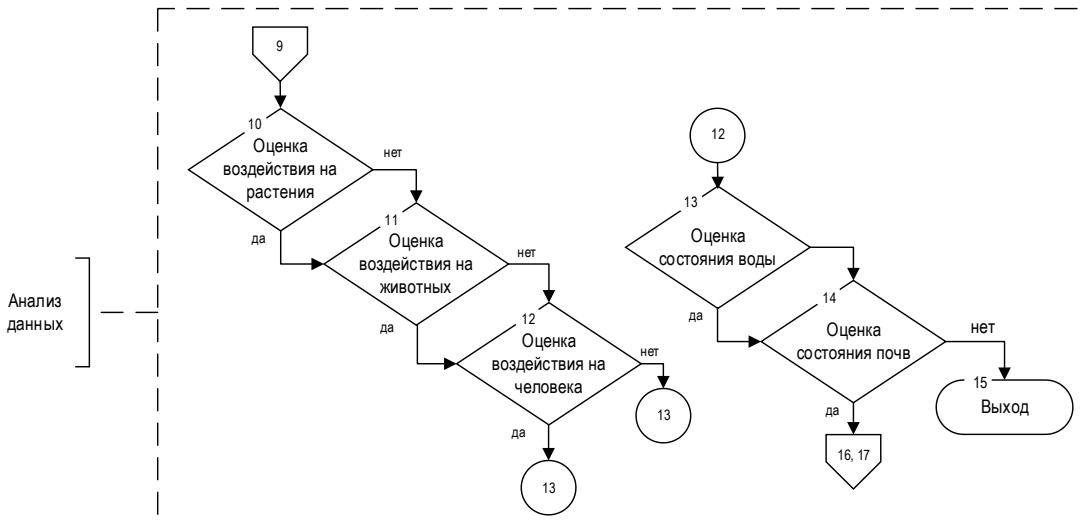


Рис. 4. Блок-схема анализа результатов биомониторинга

Пояснения обозначений, принятых в данной блок-схеме, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Обозначения, принятые в блок-схеме анализа результатов биомониторинга

Номер блока элемента	Обозначение
10	Оценка воздействия на растения различных факторов среды, включает в себя определение характера и степени потенциального вреда, который может быть причинен растительному миру
11	Оценка воздействия на животных, основанный на наблюдении за состоянием и реакцией живых организмов на различные факторы окружающей среды, в том числе и на антропогенное воздействие
12	Анализ влияния вредных веществ на здоровье населения
13	Комплекс мероприятий, направленных на выявление, анализ и прогнозирование последствий последствия воздействия различных факторов на качество воды и водные ресурсы
14	Комплекс мероприятий по выявлению, анализу и прогнозированию последствий загрязнения для окружающей среды и здоровья человека
15	Завершение процесса
16, 17	Переход к оценке состояния экосистемы

Блок-схема алгоритма процесса оценки состояния системы биомониторинга обеспечивающей выявление недопустимых отклонений от экологических норм и разработку мер по улучшению состояния ОПС изображена на рисунке 5.

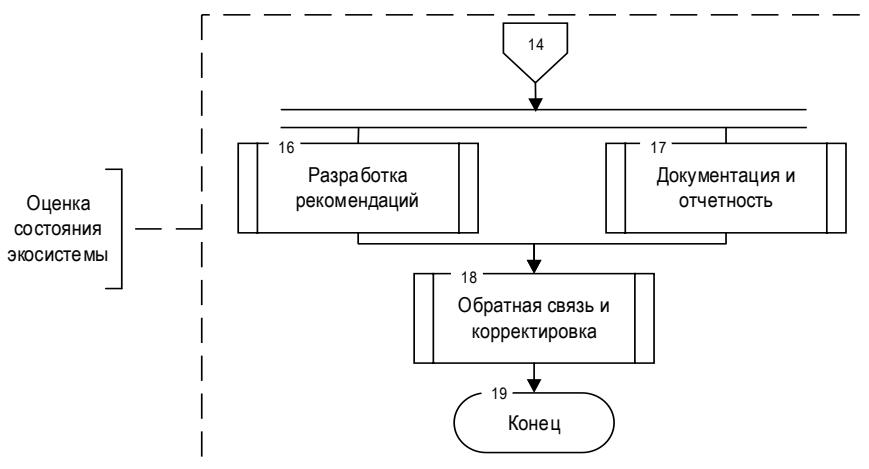


Рис. 5. Блок-схема оценки состояния системы биомониторинга

Пояснения обозначений, принятых в данной блок-схеме, приведены в таблице 4.

**Таблица 4
Обозначения, принятые в блок-схеме оценки состояния экосистемы**

Номер блока элемента	Обозначение
16	Включает в себя определение целей, выбор биологических матриц, определение загрязняющих веществ, выбор методов анализа, а также установление нормативных значений и интерпретацию результатов
17	Документация биомониторинга включает в себя планы проведения, методики отбора проб, результаты анализов, а также отчеты о проделанной работе и выводах
18	Обратная связь и корректировка в биомониторинге необходимы для оценки эффективности текущих мер и принятия мер по снижению негативного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду и здоровье населения
19	Завершение процесса

Макет программного средства «Биомониторинг ПОО» (рисунок 6) для отображения полученных данных в ходе сбора результатов анализа различных загрязняющих веществ из биоиндикатора и приведения их к общему знаменателю по предельно допустимой концентрации (ПДК) [2, 3].

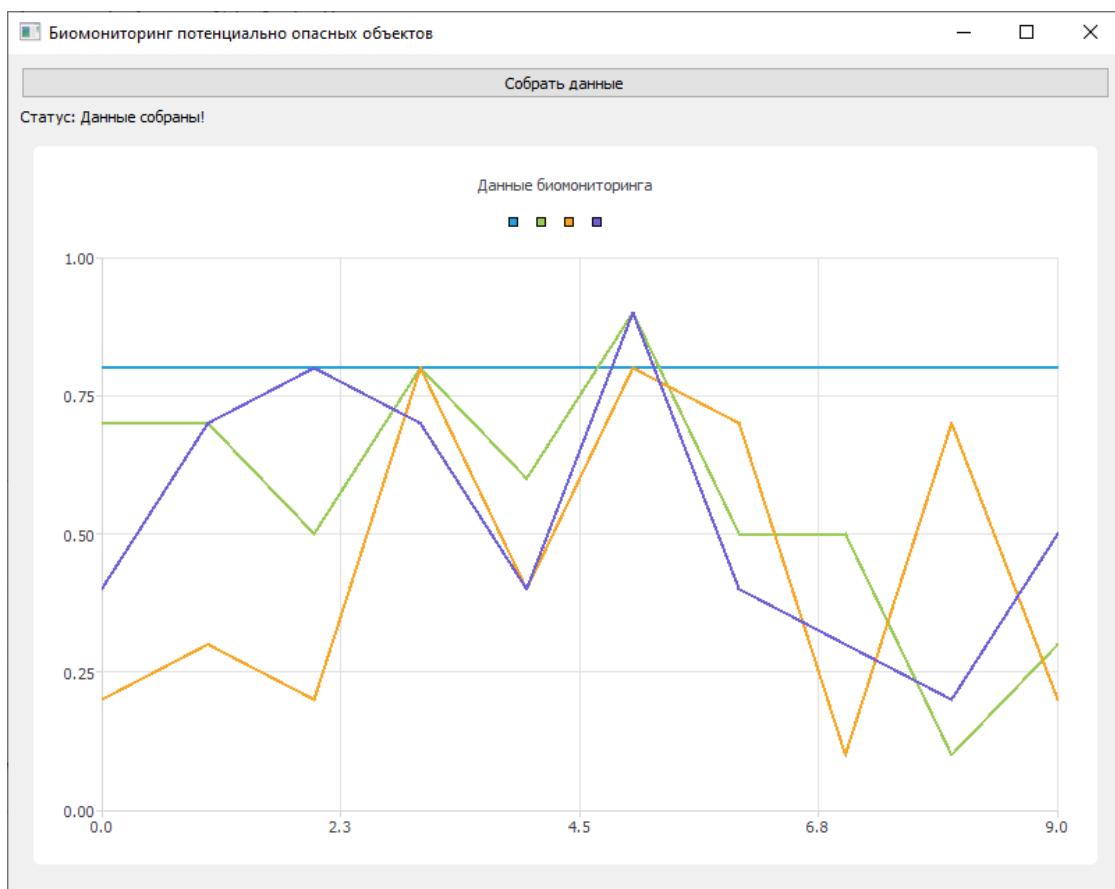


Рис. 6. График состояния биомониторинга

Заключение

Биомониторинг является важным компонентом экологического мониторинга. Его организация требует комплексного научного подхода на основе интеграции передовых научных методологий и технологий. Представленные методологические подходы позволят обеспечить раннее выявление недопустимых отклонений от экологических норм, что обеспечит снижение времени реакции служб экстренного реагирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, А. И., Петрова, Н. С. Экологический мониторинг: теория и практика. – Москва : Наука, 2020. – 120 с.
2. Шилдт, Г. C++ для начинающих. Серия «Шаг за шагом» / Г. Шилдт. – Москва : ЭКОМ Паблишерз, 2013. – 640 с.
3. Шлее, М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++ / М. Шлее. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 1072 с.

ORGANIZATION OF BIOMONITORING OF POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECTS

¹Kiper Alexander Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor

²Fadeev Andrey Vitalievich, Candidate of Technical Sciences

³Davlyud Igor Igorevich, Candidate of Technical Sciences

^{1,2,3}Federal State State Military Educational Institution of Higher Education

"Baltic Higher Naval College named after Admiral F. F. Ushakov"

of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ²andrey.fadeev_93@mail.ru

Abstract. The article discusses the theoretical and practical aspects of organizing a biomonitoring system at enterprises and in areas where facilities pose a potential threat to the environment and population. The article describes the goals and objectives of biomonitoring, including the early detection of deviations from the norm in the state of biological indicators, the assessment of the impact of complex anthropogenic loads, and the prediction of the dynamics of environmental risks. A methodological framework for building a multi-level biomonitoring system is proposed.

Keywords: biomonitoring, potentially hazardous objects, environment, bioindication

ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

¹Кривопускова Екатерина Владимировна, научный сотрудник кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Масюткина Елена Андреевна, канд. биол. наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru, ²elenmasutkina@klgtu.ru

Аннотация. Анализ видовой структуры зоопланктонного сообщества озера Виштынецкого показал, что за период с 2006 по 2023 г. оно было представлено 99 таксономическими группами, преимущественно космополитами и видами, широко распространенными в палеарктике. Наибольшее видовое разнообразие отмечается в зоне лitorали. Около трети общего количества видов составляют истинно планктонные формы, еще треть относятся к группе фитофильных животных. По способу питания в сообществе было отмечено примерно равное соотношение трех основных типов: вертикаторы, виды способные к активному захвату и первичные фильтраторы.

Ключевые слова: озеро Виштынецкое, зоопланктон, видовая структура

Введение

Зоопланктон озер благодаря своей гетеротрофной активности и ключевой роли в круговороте взвешенного органического вещества является важным биологическим компонентом водных экосистем, а также ценным биоиндикатором экологического состояния водных экосистем. Располагаясь в пищевой сети, между «регуляторами» (ихтиоценоз) и «факторами» (фитопланктон), данные о качественных и количественных параметрах зоопланктонного сообщества становятся важной информацией для прогнозирования состояния популяций различных видов рыб, а также для оценки его влияния на первичных продуцентов. Однако необходимо помнить, что зоопланктон, в особенности пресноводный, остро реагирует на изменение происходящие в окружающей среде, а в особенности на процессы эвтрофикации вызванные антропогенным воздействием, а, следовательно, его индексы разнообразия и эколого-фаунистические характеристики могут сильно колебаться. Поэтому знание «фоновой» видовой структуры зоопланктона, а также его эколого-фаунистические характеристики, играет важную роль при разработке планов по сохранению экосистем и предотвращения повышения их трофического уровня.

Некоторые биотические и абиотические параметры, такие как температура, различия в местообитаниях, а также наличие или отсутствие рыб и макрофитов, могут влиять на видовое богатство и состав зоопланктона [1]. Кроме того, видовое богатство является ключевой переменной для экологических исследований и важной составляющей для понимания функционирования экосистем, сохранения биоразнообразия и управления экосистемами. Более того, поскольку это сообщество более развито в относительно стоячих водных системах, изучение его структуры и динамики популяции может быть очень полезным инструментом для анализа экологических нарушений, которым подвергаются эти водоемы.

Обладая уникальными природными, морфометрическими и гидрологическими характеристиками, озеро Виштынецкое уже длительное время является местом притяжения туристов, в следствии чего в последние несколько лет увеличились темпы развития рекреационной деятельности на его побережье. Кроме этого, наблюдаются климатические изменения, которые приводят не только к сдвигу климатических сезонов, но и значительным колебаниям уровня воды, в отдельные годы,

достигающие до 0,5 м от «эталонных» значений 2006 года. На протяжении долго времени его трофический статус определялся как олиготрофный с некоторым чертами мезотрофности в прибрежной части Утиного залива и Тихой бухты. Современные исследования демонстрируют повышения трофического статуса прибрежной акватории на всем ее протяжении, что в свою очередь связывают с климатическими изменениями и возрастающей антропогенной нагрузкой.

С 2024 года озеро, за исключением нескольких участков в лitorали, вошло в состав Национального парка «Виштынецкий» и получило охранный статус. Некоторые участки прибрежной территории получили статус «заповедные». Поэтому важным шагом для создания программ мониторинга данного водоема является наличие актуальных данных о различных показателях среды, а в особенности биотических.

Цель данного исследования описать видовое разнообразие сообщества зоопланктона озера Виштынецкого с точки зрения его эколого-фаунистических характеристик с целью дальнейшего использования полученных результатов в качестве фона для последующих мониторинговых наблюдений и разработки планов по управлению экосистемой.

Район исследования

Озеро Виштынецкое располагается на юго-востоке Калининградской области и является крупнейшим пресноводным водоемом на территории. Водоем обладает статусом «трансграничного», поскольку по его акватории проходит государственная граница, что накладывает определенные ограничения при формировании сетки мониторинговых станций (Рисунок 1).

Наиболее крупные постоянно впадающие водотоки располагаются в южной части – р. Черница и р. Вижайна. На данном участке формируется ядро продольно осевой проточности всего озера, к сожалению, климатические изменения в отдельные годы приводят к снижению объемов поступления вод от р. Черницы [2].

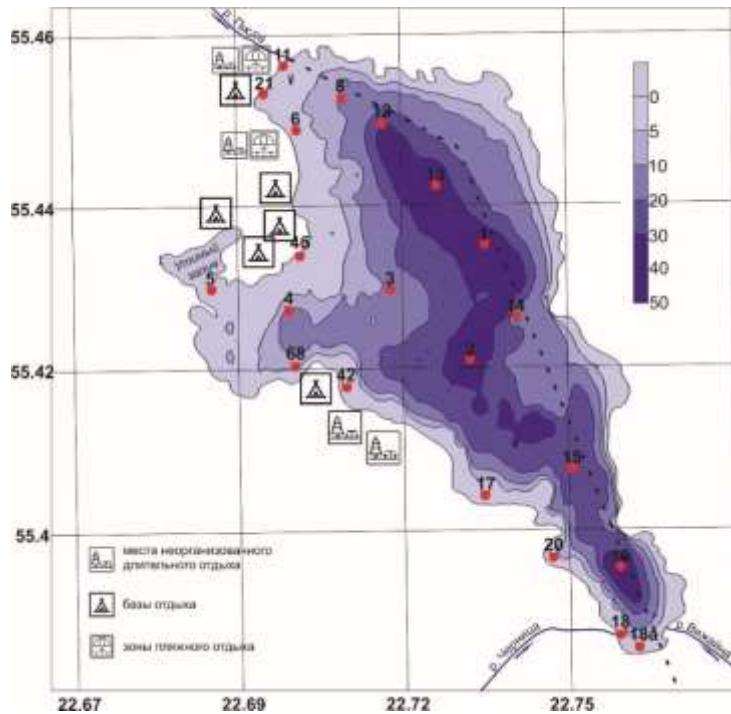
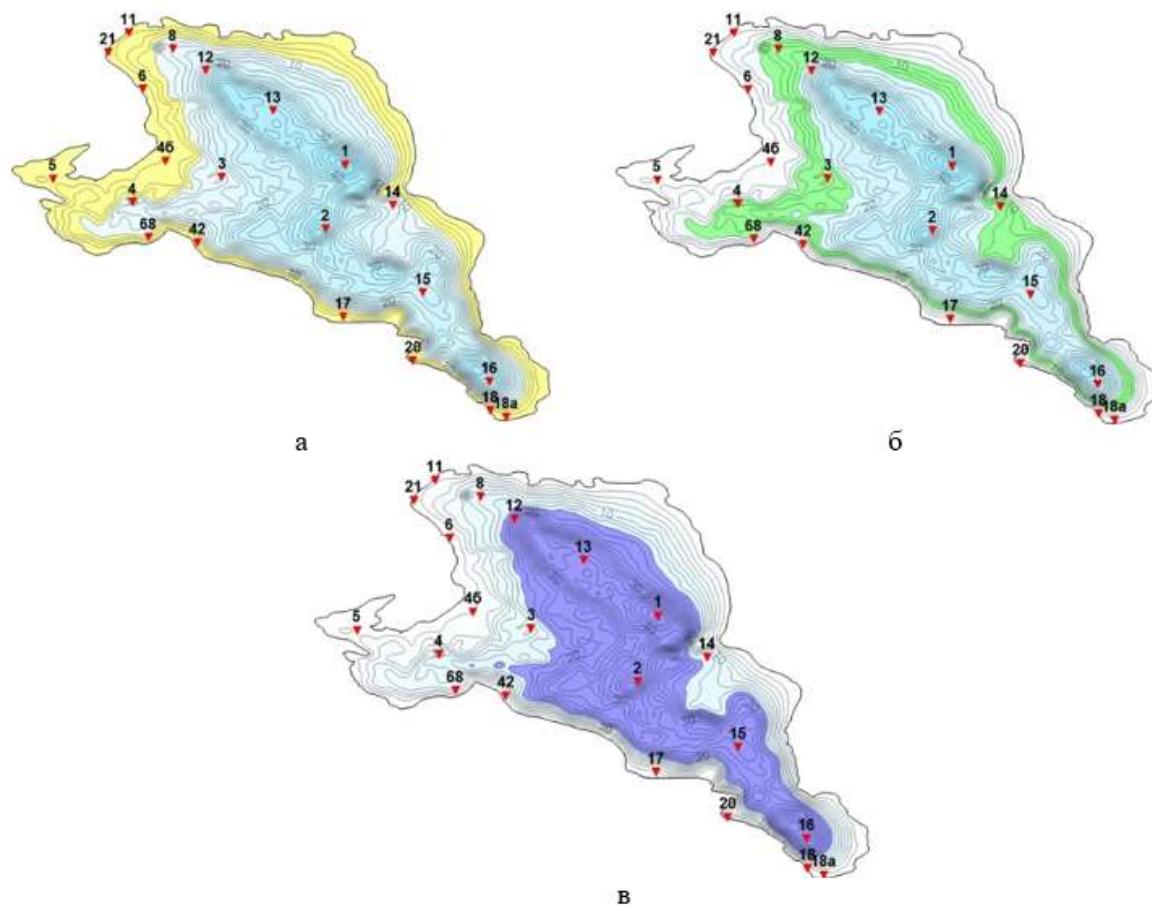


Рис. 1. Расположение станций экологического мониторинга на озере Виштынецком в период с 2006 по 2023 г.

По сравнению с другими крупными водоемами в данном регионе озеро Виштынецкого обладает относительно небольшими глубинами. Максимальная отмеченная глубина в период исследований составила 52 метра (ст. 1). Кроме этого имеется еще две глубоководные котловины – 35 м (ст. 16) и 40 м (ст. 2). Мелководные зоны в большей степени приурочены к северо-западной части озера, так же

располагается мелководный залив – Утиный залив, который в период активной вегетации почти полностью зарастает макрофитами, что значительно ограничивает отбор проб на данном участке.



*Рис. 2. Экологическая зональность озера Виштынецкого по глубине:
а – литораль (0-10 м); б – сублитораль (10-20 м); в – пелагиаль (20-50 м)*

Морфометрические особенности озера позволяют выделить следующие экологические зоны по глубине (Рисунок 2), которые в дальнейшем использовались для описания видовой структуры зоопланктонного сообщества: литораль, сублитораль, пелагиаль. Наибольшей по площади является пелагиаль, где формируются основные запасы промысловых видов рыб и наблюдается наибольший пресс «хищник-жертва» на зоопланктонное сообщество. На этих участках для дополнения видовой структуры проводились исследования спектра питания планктонофагов.

Литоральная зона сильно подвержена антропогенному воздействию от рекреационной деятельности в особенности в северной части. Южная часть литорали более сохранна по отношению к негативному воздействию хозяйственной части, однако сильно страдает от колебания уровня. В периоды «низкой» воды наблюдается значительное сокращение ее площадей и зарастание высшей водной растительной.

Материал и методика

Для оценки видового разнообразия зоопланктонного сообщества озера Виштынецкого было проанализированы результаты его комплексного экологического мониторинга в период открытой воды (апрель-ноябрь) с 2006 по 2023 гг. Всего за указанный период было проанализировано более 700 проб, отобранных с учетом морфометрических и гидрологических особенностей водоема.

Пробы отбирались на 21 стандартной станции (Рисунок 1) преимущественно при помощи малой сети Джеди) путем процеживания слоя воды от дна до поверхности. На глубоководных станциях в отдельные годы проводили послойный отбор проб при помощи батометра Молчанова (объем 4 л). В зарослевых зонах отбор проб проводился при помощи сети Апштейна. Одновременно с отбором

проб для оценки качественного состава зоопланктона измеряли температуру воды, ее pH и электропроводность, а также содержание кислорода.

Обработка собранного материала проводилась по стандартным методикам [3] при помощи стереомикроскопа Motic SZM-171, стереомикроскопа МБС-10, биологического микроскопа Motic BA-310 с использованием специализированной литературы [4, 5]. Экологический, фаунистические и трофическое группы выделяли на основе работ Чуйкова Ю.С. [6] и Крылова А.В. [7].

Результаты

В составе зоопланктонного сообщества в рассматриваемый период было идентифицировано 99 таксономических групп, при этом для 89 был установлен видовой ранг (Таблица). Для озера было отмечено развитие пресноводно-кладоцеро-copepodного комплекса на протяжении всего периода исследования.

Таблица
Видовое разнообразие зоопланктона озера Виштынецкого

Вид	Местообитания			Географическая приуроченность	Экологическая группа
	Литораль	Сублитораль	Пелагиаль		
Надотряд Cladocera					
<i>Acroperus angustatus</i>	+		+	Гол	Ф
<i>Acroperus harpae</i>	+			Гол	Ф
<i>Alona affinis</i>	+		+	Гол	ПБ
<i>Alona costata</i>	+	+	+	Гол	Ф
<i>Alona quadrangularis</i>	+	+	+	Гол	ПБ
<i>Alona rectangula</i>	+		+	Пал.	Ф
<i>Alonella exigua</i>	+	+		Гол	Ф
<i>Alonella nana</i>	+			Пал.	Ф
<i>Alonopsis elongata</i>	+	+		Гол	Ф
<i>Bosmina longirostris</i>	+	+	+	Косм.	ФП
<i>Bythotrephes longimanus</i>	+	+	+		ЭП
<i>Ceriodaphnia affinis</i>	+			Косм.	ФП
<i>Ceriodaphnia pulchella</i>	+	+	+	Гол	ФП
<i>Ceriodaphnia quadrangularis</i>	+			Косм.	ФП
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	+	+	+	Косм.	ЭТ
<i>Ceriodaphnia setosa</i>	+			Пал.	ФП
<i>Ceriodaphnia sp.</i>	+	+	+		
<i>Chydorus ovalis</i>	+	+		Гол	ПБ
<i>Chydorus piger</i>	+				
<i>Chydorus sphaericus</i>	+	+	+	Косм.	ЭТ
<i>Daphnia cristata</i>			+	Пал.	ЭП
<i>Daphnia cucullata</i>	+	+	+	Гол	ЭП
<i>Daphnia longeremis</i>	+	+	+		
<i>Daphnia longispina</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Eubosmina coregoni</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Eurycerus lamellatus</i>	+			Пал.	Ф
<i>Graptoleberis testudinaria</i>	+		+	Косм.	Ф
<i>Ilyocryptus agilis</i>	+		+	Пал.	ПБ
<i>Leptodora kindtii</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Leydigia leydigi</i>	+			Пал.	ПБ
<i>Limnosida frontosa</i>	+				ЭП
<i>Moina sp.</i>	+				ПБ
<i>Monospilus dispar</i>	+			Пал.	ПБ
<i>Pleuroxus trigonellus</i>	+	+		Гол	Ф
<i>Polyphemus pediculus</i>	+		+	Гол	Ф
<i>Scapholeberis mucronata</i>	+		+	Гол	Ф
<i>Sida crystallina</i>	+	+	+	Пал.	Ф
<i>Simocephalus vetulus</i>	+	+		Пал.	Ф
<i>Rhynchotalona falcata</i>	+			Пал.	Ф
<i>Campnocercus rectirostris</i>	+			Пал.	Ф

Вид	Местообитания			Географическая приуроченность	Экологическая группа
	Литораль	Сублитораль	Пелагиаль		
<i>Класс Copepoda</i>					
<i>Acanthocyclops venustus</i>	+		+		
<i>Acanthocyclops vernalis</i>	+	+	+	Косм.	Б ЭТ
<i>Cyclops abyssorum</i>	+	+	+		
<i>Cyclops furcifer</i>	+	+	+		
<i>Cyclops insignis</i>	+	+	+		
<i>Cyclops kolensis</i>	+	+	+	Пал.	
<i>Cyclops lacustris</i>	+	+	+		
<i>Cyclops scutifer</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Cyclops strenuus</i>	+	+	+	Пал.	Б
<i>Cyclops vicinus</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Diacyclops bicuspidatus</i>	+		+	Пал.	ЭП
<i>Diaptomus castor</i>	+	+	+		
<i>Eucyclops macruroides</i>	+	+		Пал.	Ф
<i>Eucyclops macrurus</i>	+			Пал.	Ф
<i>Eucyclops serrulatus</i>	+	+	+	Косм.	Ф
<i>Eudiaptomus graciloides</i>	+	+	+	Гол	ЭП
<i>Harpacticoida sp.</i>	+	+	+		
<i>Heterocope appendiculata</i>	+	+	+	Пал.	
<i>Macrocylops albidus</i>	+	+	+	Косм.	Ф
<i>Macrocylops fuscus</i>	+			Косм.	Ф
<i>Megacyclops gigas</i>	+		+		
<i>Megacyclops viridis</i>	+	+	+	Пал.	ЭП
<i>Mesocylops leuckartii</i>	+	+	+	Косм.	ФП
<i>Metacyclops gracilis</i>	+	+	+	Пал.	Ф
<i>Microcycllops varicans</i>	+	+			
<i>Paracyclops affinis</i>	+	+	+	Косм.	Ф
<i>Paracyclops fimbriatus</i>	+	+	+		ЭП
<i>Thermocyclops crassus</i>	+	+	+	Косм.	ФП
<i>Thermocyclops oithonoides</i>	+	+	+	Косм.	ФП
<i>Tun Rotifera</i>					
<i>Asplanchna herrickii</i>	+	+	+		
<i>Asplanchna priodonta</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Brachionus angularis</i>		+		Косм.	ЭП
<i>Brachionus calyciflorus</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Brachionus quadridentatus</i>	+		+	Косм.	ФП
<i>Colurella sp.</i>	+				
<i>Conochilus hipporepis</i>	+	+	+	Косм.	Эп
<i>Conochilus unicornis</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Euchlanis dilatata</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Euchlanis incisa</i>	+			Косм.	Ф
<i>Filinia longisetata</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Filinia major</i>	+		+		
<i>Filinia teminalis</i>	+	+	+		
<i>Kellicottia longispina</i>	+	+	+	Гол	ЭП
<i>Keratella cochlearis</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Keratella quadrata</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Lecane luna</i>	+		+	Косм.	ПБ
<i>Lepadella sp.</i>	+				
<i>Notholca sp.</i>			+		
<i>Platyias quadricornis</i>	+			Косм.	Ф
<i>Polyarthra dolichoptera</i>			+	Пал.	ЭП
<i>Polyarthra luminosa</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Polyarthra major</i>	+	+	+		
<i>Synchaeta pectinata</i>	+	+	+	Косм.	ЭП
<i>Trichocerca capucina</i>	+			Косм.	Ф

По разнообразию доминировали представители ветвистоусых ракообразных (н/отр *Cladocera*) – 42 вида (42 %) (родов и семейств). Наименьшее видовое разнообразие было отмечено для коловраток (тип *Rotifera*) – 27 видов (27 %) (родов и семейств).

Доминирующими видами на протяжении всего рассматриваемого периода были представители н/отр *Cladocera*. Доминирующие виды считаются важнейшими экологическими индикаторами, поскольку они подвергаются наиболее сильному воздействию среды обитания в течение более длительного периода и проявляют разную степень чувствительности.

Наибольшее видовое разнообразие отмечается в зоне литорали, где зарегистрировано около 94 % всех найденных видов, в основном за счет увеличения количества зарослевых видов кладоцер. Наибольшим разнообразием на этом участке закономерно отличалось семейство *Chydoridae* (19 видов). В зоне сублиторали разнообразие зоопланктона снижается (до 59 %), а глубоководной зоне увеличивается (до 70 % от всех отмеченных таксонов).

Зоопланктон озера представлен преимущественно толерантными видами с широкой экологической валентностью, относящиеся по фаунистическим характеристикам к космополитам и видам, широко распространенными в палеарктике. Однако в структуре присутствовали и виды, приуроченные к южным широтам, например, *Thermocyclops oithonoides*.

Около трети общего количества видов составляют истинно планктонные формы, еще треть относятся к группе фитофильных животных. В меньшей степени представлены планктонобентические виды и фитофильно-планктонные (примерно по 11 %). Доля строго донных и эвритопных видов минимальна (по 3 %). В зонах сублиторали и профундации около 50 % всех видов являются эуплактонными.

Анализируя видовой состав зоопланктона по способу питания, отмечено примерно равное соотношение (около 25 % на каждый) трех основных типов кормодобыивания: вертикаторы, виды способные к активному захвату и первичные фильтраторы. Виды с остальными типами питания составляют в целом около 25 %. Соотношение видов-фильтраторов к хищникам составила 1,3.

Заключение

Зоопланктон является важным компонентом экосистемы; из-за своей гетеротрофной активности он выступает в качестве первичных и вторичных звеньев пищевой цепи. В связи с этим на сообщества зоопланктона влияют большое количество абиотических и биотических факторов, что позволяет использовать его качественные и количественные параметры как индикаторы эвтрофикации. В связи с чем понимание информации о эколого-фаунистической структуре зоопланкtonного сообщества наравне с его другими параметрами может стать основой для понимания процессов протекающих в водоемах под воздействием антропогенной нагрузки и климатических изменений.

Для озера Виштынецкого в последние несколько лет несмотря на относительно стабильную видовую структуру планктонофауны характерны некоторые изменения в ней. Так в структуре зоопланкtonного сообщества отмечается отсутствие представителей вида *Bythotrephes longimanus*, еще рано говорить об исключении данного вида из видовой структуры, поскольку необходимо проведение дополнительных исследований с использованием их методов отбора проб. Кроме этого, участились находки новой для данного водоема морфы *Bosmina (Eubosmina) coregoni berolinensis*. Однако в целом зоопланкtonного сообщества остается постоянным и состоит из широко распространенных видов, а отмеченные изменения требуют дополнительных исследований.

Зоопланктонное сообщество озера частично состоит из высокочувствительных олиготрофных организмов, реагирующих на большое количество изменений окружающей среды за относительно короткие периоды времени, что позволяет при наличии «фоновых значений» оценивать влияние рекреационной деятельности и природоохранных мер на озере Виштынецком в кратчайшие сроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaya, M., Fontaneto, D., Segers, H., Altındağ, A. Temperature and salinity as interacting drivers of species richness of planktonic rotifers in Turkish continental waters // Journal of Limnology. – 2010. – Vol. 69. – Pp. 297–304.
2. Кривопускова, Е. В., Шибаев, С. В. Особенности формирования гидрологического режима озера Виштынецкого (Калининградская область) // International Conference on Sustainable Development in Sciences, Management & Technology: Conference Proceedings, Oslo, Norway, 20 декабря 2022 года. – Oslo, Norway : Научная общественная организация «Профессиональная наука», 2022. – С. 17–23. – DOI 10.54092/9781470929961_17.
3. Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных и др. – Ярославль : Филигрань, 2024. – 592 с.
4. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. – Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 495 с.
5. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии / Н. М. Коровчинский, А. А. Котов, А. Ю. Синев и др. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2021. – Т. 2. – 544 с.
6. Чуйков, Ю. С. Методы экологического анализа состава и структуры сообществ водных животных // Экология. – 1981. – №3. – С. 71–77.
7. Крылов, А. В. Зоопланктон равнинных малых рек. – Москва : Наука, 2005. – 263 с.

ECOLOGICAL-FAUNISTIC CHARACTERISTICS OF ZOOPLANKTON IN LAKE VISHTYNETSKOYE

¹Krivopuskova Ekaterina Vladimirovna, researcher at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

² Masyutkina Elena Andreevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

^{1,2}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹ekaterina.krivopuskova@klgtu.ru, ²elena.masyutkina@klgtu.ru

Abstract. An analysis of the species structure of the zooplankton community of Lake Vishtynetsky showed that during period from 2006 to 2023 it was represented by 100 taxonomic groups, mainly cosmopolitans and species widespread in the Palearctic. The highest species diversity has observed in the littoral zone. About third of the total number of species are truly planktonic forms, and another third belong to the group of phytophilic animals. According to the type of nutrition in the community, an approximately equal ratio of three main types was noted: verticators, species capable of active capture, and primary filtrators.

Keywords: lake Vishtynetskoye, zooplankton, species structure

АКТУАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОФИТОВ РОССИЙСКОЙ ЧАСТИ КУРШСКОГО ЗАЛИВА

¹Меньшенин Александр Сергеевич, заведующий лабораториями кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Новожилов Олег Анатольевич, директор института рыболовства и аквакультуры

^{1,2}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹aleksandr.menshenin@kltu.ru

Аннотация. Определяется актуальное состояние гидрофитов российской части Куршского залива. Приведены результаты исследования состояния гидрофитов Куршского залива в 2024–2025 гг. Описаны видовая, экобиоморфологическая, географическая структуры гидрофитов. Приведена классификация видов гидрофитов, обнаруженных в ходе исследования. Даны рекомендации по рациональному использованию водных биологических ресурсов Куршского залива.

Ключевые слова: гидрофиты, Куршский залив, высшая водная растительность

Введение

Куршский залив является крупнейшей лагуной в Европе, для которой характерны незначительные глубины и высокая продуктивность. Особое значение Куршский залив имеет для рыбного хозяйства Калининградской области и Северо-Западного федерального округа в целом. Уловы в заливе составляют около 2,5 тыс. тонн [1].

Особую роль в изучении Куршского залива сыграли комплексные исследования 50-х годов, когда учеными из Академии наук Литовской ССР проводилась экспедиция в северной части лагуны [2]. В результате данных работ было составлено описание прибрежно-водной растительности водного объекта, что ознаменовало начало флористических исследований Куршского залива. Исследования в данном направлении продолжаются и по сей день, однако они носят фрагментарный характер и не охватывают весь водный объект [3-6].

Целью данной работы является оценка актуального состояния гидрофитов Куршского залива, посредством определения флористического состава высшей водной растительности, а также ее характера и распределения.

Анализ водной флоры Куршского залива

Согласно исследованиям 1950-х гг. [2], флористический состав Куршского залива и его бассейна представлен 114 видами, включая водоросли, мхи и папоротникообразные. В пределах Национального парка «Куршская коса» в состав потенциально встречающихся прибрежно-водных и береговых растений, в современный период, входит 225 видов [3]. Среди гидрофитов залива выделяют, за все время исследований, от 21 до 27 видов.

Работа выполнена на основе данных, полученных в 2022-2025 гг. в ходе обследования прибрежной части Куршского залива в начале мая (начало вегетации), в конце июля (пик вегетации) и в октябре (начало периода разложения растительности). Исследование гидрофитов, проводили общепринятыми в гидроботанике методами [8-9]. Первичный учет гидрофитов проводился маршрутным методом с использованием маломерного моторного судна и прохождением всей береговой части Куршского залива. Пройденный трек фиксировался в приложении Orux Maps и в дальнейшем обрабатывался в ПО ArcGis. Для проведения учета растительности было выбрано 40 учетных площадок и 10 профилей зарастания. Для учета площадей и общего проектного покрытия использовались ботанические рамки с размерами 0,25, 1,5 и 10 м².

Систематический анализ по результатам исследования показал, что гидрофиты представлены 20 видами высших растений, относящихся к 13 родам из 9 семейств и порядков (табл. 1). Среди классов гидрофитов выделяются Liliopsida (11 видов), Magnoliopsida (8 видов) и Bryopsida (1 вид). Отмеченные нами представители гидрофитов принадлежат двум отделам: *Bryophyta* (1 вид) и *Magnoliophyta* (19 видов). Среди растительного сообщества Куршского залива, были выявлены представители семейства *Nymphaeaceae*, входящие в Красную книгу Калининградской области (*Nymphaea alba*, *Nymphaea candida* и *Nymphaoides peltata*) [10].

Основу флоры «водного ядра» составляют представители настоящих водных растений, относящиеся к семействам *Potamogetonaceae* (5 видов), *Nymphaeaceae* (4 вида) и *Lemnaceae* (4 вида). Основными представителями эколого-ценотической группы гидрофитов являются растения рода *Potamogeton*, виды *Nuphar lutea*, *Ceratophyllum demersum* и *Myriophyllum spicatum*.

Таблица 1
Виды гидрофитов Куршского залива

Таксоны	Экотипы	Экогруппа
Отдел Bryophyta		
Класс Bryopsida		
Порядок Hypnales		
Семейство Fontinalaceae		
<i>Fontinalis antipyretica</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
Отдел Magnoliophyta		
Класс Liliopsida		
Порядок Hydrocharitales		
Семейство Hydrocharitaceae		
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	свободно плавающие на поверхности воды
<i>Stratiotes aloides</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
Порядок Arales		
Семейство Lemnaceae		
<i>Lemna gibba</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	свободно плавающие на поверхности воды
<i>Lemna minor</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	свободно плавающие на поверхности воды
<i>Lemna trisulca</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	свободно плавающие на поверхности воды
<i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid.	гидрофиты, настоящие водные растения	свободно плавающие на поверхности воды
Порядок Potamogetonales		
Семейство Potamogetonaceae		
<i>Potamogeton crispus</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
<i>Potamogeton lucens</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
<i>Potamogeton natans</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
Класс Magnoliopsida		
Порядок Ceratophyllales		
Семейство Ceratophyllaceae		
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты

Таксоны	Экотипы	Экогруппа
Порядок Haloragales		
Семейство Haloragaceae		
<i>Myriophyllum spicatum L.</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты
Порядок Nymphaeales		
Семейство Nymphaeaceae		
<i>Nuphar lutea (L.) Sm.</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
<i>Nymphaea alba L.</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
<i>Nymphaea candida J. Presl & C. Presl</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
<i>Nymphaoides peltata (S.G. Gmel.) Kuntze</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
Порядок Polygonales		
Семейство Polygonaceae		
<i>Persicaria amphibia (L.) Delarbre</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	укореняющиеся гидрофиты с плавающими на воде листьями
Порядок Ranunculales		
Семейство Ranunculaceae		
<i>Ranunculus circinatus Sibth.</i>	гидрофиты, настоящие водные растения	погруженные укореняющиеся гидрофиты

Среди жизненных форм водной флоры Куршского залива, по классификации И.Г. Серебрякова [11], преобладают столонообразующие травянистые поликарпики (одн. вег. происх.) (5 видов; 25 %), листецовые травянистые поликарпики (одн. вег. происх.) (4 видов; 20 %) и стелющиеся эпигеогенно-корневищные травянистые поликарпики (3 вида; 15 %), имеющие устойчивую корневую систему, способную развиваться в условиях резких климатических изменений и неблагоприятного гидрологического режима водного объекта. В целом, в результате проведенных исследований, были выделены 10 типов жизненных форм (табл. 2).

Таблица 2

Распределение типов жизненных форм для гидрофитов Куршского залива

Жизненная форма Life form	Количество видов Number of species
бескорневой свободноплавающий трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	1
двудомный столонообразующ. розет. трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	1
длиннокорневищ. трав. поликарпик	2
кистекорн. столонообразующ. розет. трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	1
кистекорневой трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	1
листецовый трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	4
стелющийся эпигеогенно-корне-вищ. трав. поликарпик	3
столонообразующий трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	5
двудомный бокоплодный мох	1
кистекорневой полурозеточный трав. поликарпик (одн. вег. происх.)	1

По классификации Н.П. Савиных [12] среди гидрофитов преобладают вегетативно-подвижные явнополицентрические (9 видов; 45 %) и вегетативно-подвижные ацентрические (7 видов; 35 %) биоморфы. Вегетативно-подвижные ацентрические биоморфы представлены в меньшей степени (4 вида; 20 %) (рис. 3). Таким образом, среди жизненных форм доминируют вегетативно-подвижные растения.

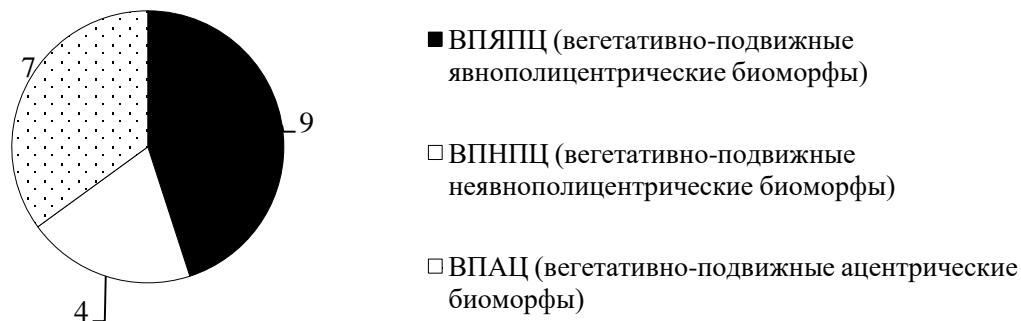


Рис. 1. Распределение экобиоморф по для гидрофитов Куршского залива

Анализ географической структуры гидрофитов проводился в долготном (региональном) (рис. 2а) и широтном (зональном) (рис. 2б) отношении. Большая часть гидрофитов относится к гемикосмополитному (8 видов; 40 %) и голарктическому (5 видов; 25 %) долготным географическим элементам. Остальные долготные географические элементы реже. Хорологический анализ флоры водоема подтверждает отношение водного объекта к региону Восточной Европы.

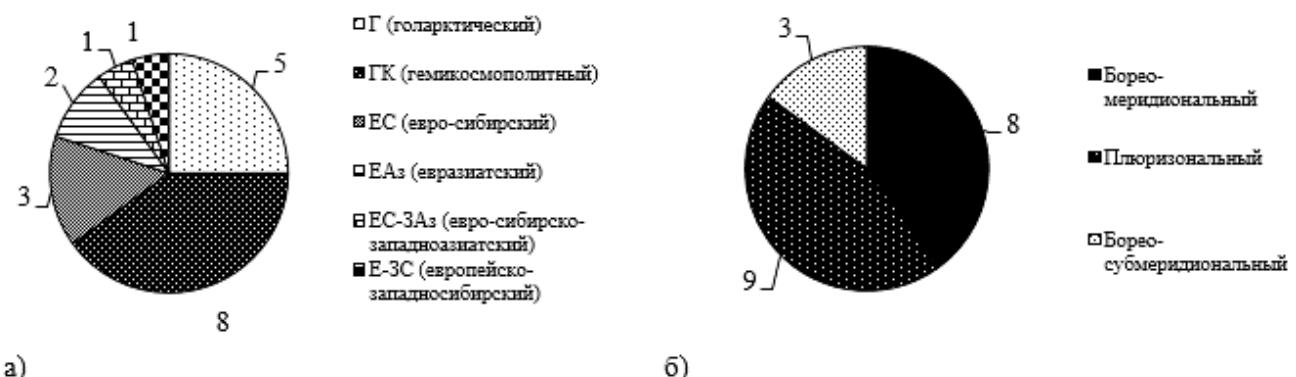


Рис. 2. а) долготное и б) широтное распределение гидрофитов Куршского залива

В широтном распределении растительности преобладают плюриональный (9 видов; 45 %) и борео-меридиональный (8 видов; 40 %) элементы, свидетельствующие о типичности состава гидрофитов Куршского залива для Восточной Европы и соответствия зональному положению водного объекта.

Заключение

В рамках исследований 2022-2025 гг. было обнаружено 20 видов гидрофитов, относящихся к 13 родам из девяти семейств. Три вида входят в перечень Красной книги Калининградской области. Биоморфологический анализ показал, что среди жизненных форм водной флоры Куршского залива преобладают столонообразующие травянистые поликарпики (одн. вег. происх.) (5 видов). Хорологическая характеристика водной флоры Куршского залива подтверждает принадлежность водной растительности региону Восточной Европы. Подобное распределение гидрофитов является типичным для эвтрофированных водоемов. Выполненная работа показала необходимость продолжения мониторинга гидрофитов для установления присутствия в заливе ранее обнаруженных видов в результате других исследований или подтверждения их отсутствия в рамках трансформации экосистемы залива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Сведения об улове рыбы и добыче других водных биоресурсов за январь-декабрь 2024 года. – URL: https://fish.gov.ru/wp-content/uploads/2025/03/1p_01-12_2024.pdf (дата обращения: 30.08.2025).
- Минкевичус, А., Пипинис, Й. Обзор флоры и растительности залива Куршю Марес // Куршю марес. Итоги комплексного исследования. – Вильнюс, 1959. – С. 109–116.

3. Герб, М. А. Прибрежно-водная и береговая растительность Куршского залива в пределах национального парка «Куршская коса» / М. А. Герб, А. А. Соколов // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса» : сборник научных статей / сост. : И. П. Жуковская. – Калининград : Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 2011. – С. 5–18.

4. Меньшенин, А. С. Высшая водная растительность северо-восточной части Куршского залива / А. С. Меньшенин, О. А. Новожилов // Биологическое разнообразие: изучение, сохранение, восстановление, рациональное использование : материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня основания Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского, Керчь, 17–23 сентября 2024 года. – Симферополь : Ариал, 2024. – С. 274–278.

5. Мурашко, П. А. Первые результаты исследования высшей водной растительности российской прибрежной части Куршского залива / П. А. Мурашко, А. С. Меньшенин, С. В. Шибаев // Балтийский морской форум : материалы X Международного Балтийского морского форума : в 7 т. – Калининград. – Т. 3. – Калининград : Издательство БГАРФ, 2022. – С. 82–87.

6. Результаты экологического мониторинга прибрежной зоны Куршского залива на территории национального парка «Куршская коса» в 2020 году / Н. Э. Багиров, Е. Е. Ежова, Е. К. Ланге [и др.] // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса» : сборник научных статей / ФГБУ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК "КУРШСКАЯ КОСА"». – Калининград : Балтийский федеральный университет им. И. Канта, 2021. – С. 144–189.

7. Меньшенин, А. С. Исследования особенностей видовой структуры ихтиоценоза в биотопах макрофитов Куршского залива / А. С. Меньшенин, С. В. Шибаев // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов : тезисы международной научно-практической конференции, Москва, 20–24 ноября 2023 года. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2023. – С. 90–92.

8. Катанская, В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР: Методы изучения. – Ленинград : Наука, 1981. – 187 с.

9. Шенников, А. П. Введение в геоботанику. – Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1964. – 447 с.

10. Красная книга Калининградской области / коллектив авторов; под ред. В. П. Дедкова, Г. В. Гришанова. – Калининград : Издательство РГУ им. И. Канта, 2010. – 333 с.

11. Серебряков, И. Г. Жизненные формы высших растений и их изучение // Полевая геоботаника. – Москва ; Ленинград, 1964. – Т. 3. – С. 148–208.

12. Савиных, Н. П. О жизненных формах водных растений // Гидроботаника: методология, методы: Матер. Школы по гидроботанике (Борок, 8–12 апреля 2003 г.). – Рыбинск, 2003. – С. 39–48.

CURRENT STATE OF HYDROPHYTES IN THE RUSSIAN PART OF THE CURONIAN LAGOON

¹Menshenin Aleksandr Sergeevich, Head of Laboratories of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

²Novozhilov Oleg Anatolyevich, Director of the Institute of Fisheries and Aquaculture

^{1,2}Kaliningrad State Technical University Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹aleksandr.menshenin@klgtu.ru

Abstract. The purpose of the work is to determine the current state of the hydrophytes of the Russian part of the Curonian Lagoon. The paper presents the results of a study of the condition of the hydrophytes of the Curonian Lagoon in 2024-2025. The species, ecobiomorphological, and geographical structures of hydrophytes are described. The classification of the types of hydrophytes found during the study is given. Recommendations on the rational use of aquatic biological resources of the Curonian Lagoon are given.

Keywords: hydrophytes, Curonian Lagoon, higher aquatic vegetation

ХАРАКТЕРИСТИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБВОДНЕННЫХ КАРЬЕРОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

^{1,2}Моисеенко Валентина Валерьевна, аспирант, техник лаборатории гидробиологии

¹Цупикова Надежда Александровна, канд. геол.-мин. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: tsoupikova@klgtu.ru

²Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО),
Калининград, Россия, e-mail: moiseenko@atlant.vniro.ru

Аннотация. Представлены результаты рекогносцировочного исследования 14 обводненных карьеров Калининградской области. Проведена классификация данных водных объектов по морфометрическим, гидрохимическим и гидробиологическим параметрам. Выявлены особенности формирования экосистем в зависимости от возраста и географического положения, особо подчеркиваются примеры молодого карьера Нивы и старейших (среди исследованных) объектов Пелавский и Свалка.

Ключевые слова: обводненные карьеры, морфометрия, гидрохимия, зоопланктон, кластеризация, Калининградская область

Территория Калининградской области насчитывает порядка 50 обводненных карьеров, представляющих собой уникальные молодые водные объекты антропогенного происхождения для изучения гидроэкологических процессов. Эти водоемы можно разделить на группы по территориальному принципу, отражающему влияние географического положения на их гидрологические и экологические характеристики [1]. Основные группы включают карьеры побережья Калининградского залива и карьеры бассейна реки Преголя. Особое внимание заслуживают карьер Янтарный (Синявинский), расположенный на побережье Балтийского моря, и карьер Нивы, характеризующиеся специфическими условиями (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения обводненных карьеров Калининградской области

В некоторых источниках, в т.ч. в научной литературе, обводненные карьераы Калининградской области часто упоминаются под альтернативными названиями и иногда классифицируемыми как озера, что создает сложности для унификации данных и анализа их экологических особенностей: например, карьер Сокольники (Гвардейский муниципальный округ) фигурирует как озеро Длинное, карьер Озерки – как озеро Киеz [1]. Отдельно следует отметить систему так называемых «Голубых озер» на юго-западной окраине г. Калининграда, состоящей из озера Голубое и пруда Форелевого, которые также являются обводненными карьерами [2]. Березовский карьер известен как карьер Прозрачный, карьер Янтарный – как «озеро Синявинское» или «Синявинский карьер» [3]. Согласно Водному реестру, большинство обводненных карьеров являются водоемами без официального названия. Однако за некоторыми закрепились наименования, соответствующие расположенным поблизости населенным пунктам: карьер Мечта, Рыбачий, Ровное, Пушкарево, Березовский, Знаменский. Происхождение названий ряда водоемов остается невыясненным, например, пруд Пелавский по форме и рельефу дна обладает признаками искусственного водоема карьерного происхождения [4], как и рядом расположенный водоем «озеро Свалка», обладающий аналогичными характеристиками. В настоящей статье для исследуемых карьеров приняты названия, основанные на расположенных поблизости населенных пунктах, что обеспечивает унификацию и облегчает анализ.

Целью данного исследования является обобщение имеющихся сведений о карьерах Калининградской области и классификация данных водных объектов по площади, периоду образования, гидрохимическим характеристикам.

Материалы и методы

Для определения основных морфометрических характеристик (площадь водного зеркала, длина береговой линии) исследуемых обводненных карьеров использована программа ArcGIS (версия 10.8), что позволило классифицировать водоемы по размерам в соответствии с целями исследования. Материалом исследования послужили гидрохимические гидробиологические пробы, одновременно отобранные авторами в течение вегетационного периода 2023-2024 г. в поверхностном слое воды (глубина 0–1 м) на литоральных и в центральных участках изучаемых водных объектов. Пробы обрабатывались статистически с использованием свободно распространяемой программной среды R. Кластеризация проведена методом иерархического кластерного анализа с использованием евклидова расстояния и метода полной связи. Гидрохимический анализ отобранных проб включал определение минерального состава вод в соответствии с общепринятыми методиками [5].

Отбор проб зоопланктона проводился гидробиологическим сачком и обрабатывали согласно методике [6]. Для оценки разнообразия сообществ зоопланктона применялся индекс Шеннона и определена трофность по числу видов [7].

Результаты и обсуждение

Обводненные карьераы Калининградской области в основном остаются малоизученными либо вовсе неисследованными по причине относительно недавнего времени их образования. В настоящее время наиболее изученными являются карьераы, расположенные вблизи г. Калининграда и карьер Янтарный [3, 8, 9, 10, 11]. Первые сведения об обводненных карьерах, удаленных от г. Калининграда, появились лишь в последние несколько лет [12, 13].

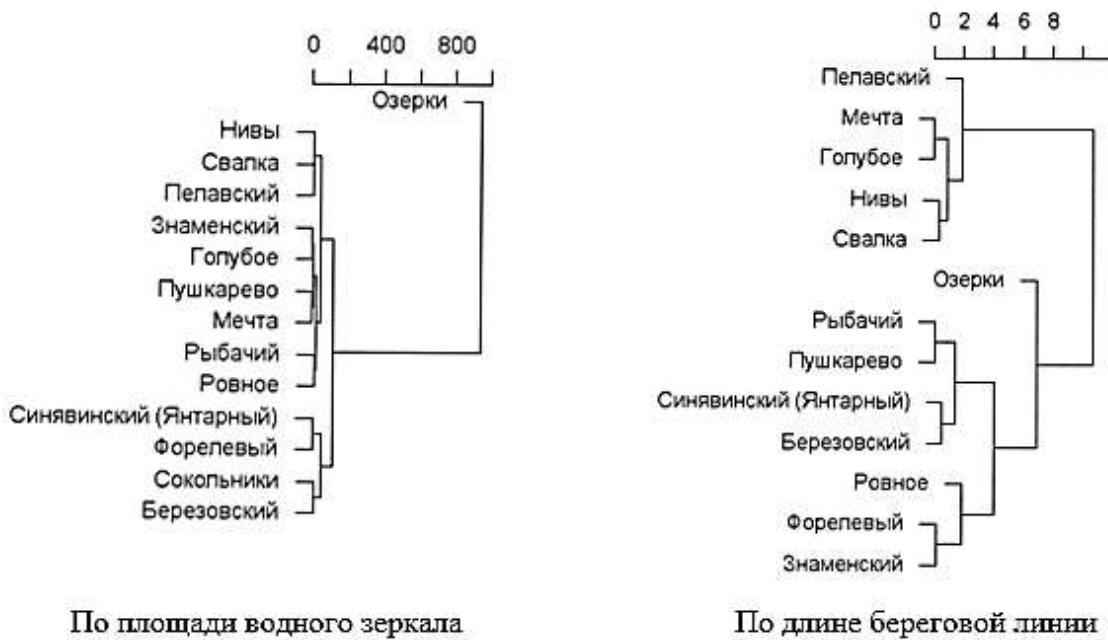
На основе ретроспективного анализа оснований картографических данных определены периоды формирования исследуемых обводненных карьеров.

Таблица 1

Морфометрические характеристики обводненных карьеров Калининградской области

Название карьера	Площадь, га	Длина береговой линии, км
Синявинский (Янтарный)	118,00	5,51
Форелевый	110,00	7,05
Озерки	95,0	11,6
Сокольники	76,6	7,93
Березовский	63,50	6,12
Рыбачий	47,80	4,81
Ровное	37,40	8,70
Пушкарево	27,6	4,66
Мечта	26,60	2,76
Знаменский	25,90	6,83
Голубое	25,40	2,69
Нивы	12,60	1,87
Свалка	6,69	2,22
Пелавский	4,30	0,88

Анализ вышеуказанных параметров исследуемых водоемов показал, что по обеим морфометрическим характеристикам наиболее выделяется карьер Озерки как наиболее крупный и морфометрически отличающийся от прочих объектов. Основные кластеры в обеих дендрограммах частично совпадают. Морфометрические характеристики обводненных карьеров формируют устойчивые группы, что важно для понимания их экологических и гидрологических особенностей таких водоемов (рис. 2).



По площади водного зеркала

По длине береговой линии

Рис. 2. Дендрограмма кластеризации обводненных карьеров Калининградской области по морфометрическим характеристикам

Карьеры, расположенные вблизи г. Калининграда, обладают сходными морфометрическими характеристиками и преимущественно характеризуются наименьшими площадями водного зеркала.

Периоды образования исследуемых обводненных карьеров, определенные по спутниковым снимкам, представлены в Таблице 2. Наиболее «молодым» является карьер Нивы, наиболее «старые» – Пелавский и Свалка. Группировка по периодам образования коррелирует с территориальной близостью: например, карьеры, возникшие до 1950 г. (Пелавский и Свалка), карьеры 1960–1970 гг. (Голубое и Форелевый) расположены вблизи друг друга, что указывает на влияние регионального освоения земель.

Таблица 2

Период образования обводненных карьеров Калининградской области

Период образования	Обводненные карьеры
1946-1950 гг.	Пелавский и Свалка
1960-1970 гг.	Голубое, Форелевый и Янтарный
1980-1990 гг.	Березовский, Пушкарево, Ровное, Озерки и Сокольники (расположенные в бассейне р. Преголя)
1990-2000 гг.	Знаменский, Мечта и Рыбачий
2017-2021 гг.	Нивы

Гидрохимический анализ вод показал, что большинство исследуемых водоемов слабощелочные (рН 7,5-8,5), с минимальными значениями в карьере Нивы, что типично для новообразованных водоемов техногенного происхождения [14]. По величине жесткости воды большинства карьеров согласно классификации О.А. Алекина мягкие. Минерализация преимущественно высокая или повышенная, что также характерно для техногенных водоемов. Класс вод – хлоридный у прибрежных карьеров (влияние Калининградского залива) и сульфатный или гидрокарбонатный у прочих (табл. 3).

Таблица 3

Гидрохимические характеристики обводненных карьеров Калининградской области

Водоем	pH	Жесткость	Минерализация	Класс вод
Нивы	Кислые	Очень жесткие	Повышенная	Сульфатный
Рыбачий	Щелочные	Мягкие	Повышенная	Хлоридный
Мечта	Щелочные	Очень жесткие	Повышенная	Хлоридный
Знаменский	Слабощелочные	Мягкие	Высокая	Сульфатный
Сокольники	Нейтральные	Мягкие	Повышенная	Гидрокарбонатный
Озерки	Слабощелочные	Мягкие	Средняя	Гидрокарбонатный
Березовский	Слабощелочные	Мягкие	Средняя	Гидрокарбонатный
Ровное	Слабощелочные	Мягкие	Повышенная	Сульфатный
Пушкарево	Слабощелочные	Мягкие	Высокая	Сульфатный
Янтарный	Нейтральные	Мягкие	Высокая	Гидрокарбонатный
Голубое	Слабощелочные	Умеренно жесткие	Высокая	Хлоридный
Форелевый	Слабощелочные	Жесткие	Высокая	Хлоридный
Пелавский	Слабощелочные	Умеренно жесткие	Средняя	Гидрокарбонатный
Свалка	Кислые	Мягкие	Средняя	Гидрокарбонатный

Анализ количественных и качественных показателей зоопланктона демонстрирует, что согласно индексу Шеннона по численности большинство водоемов являются мезотрофными, для карьера Нивы отмечаются экстремальные условия (низкий pH вод и недавнее образование создают неблагоприятные условия для многих видов зоопланктона). При оценке по числу видов преобладает олиготрофия (табл. 4).

Таблица 4

Трофность обводненных карьеров Калининградской области по показателям зоопланктона

Наименование обводненного карьера	Трофность по индексу Шеннона	Трофность по числу видов
Нивы	Экстремальные условия	Дистрофный
Рыбачий	Эвтрофный	Дистрофный
Мечта	Эвтрофный	Дистрофный
Знаменский	Олиготрофный	Олиготрофный
Сокольники	Мезотрофный	Олиготрофный
Озерки	Мезотрофный	Олиготрофный
Березовский	Олиготрофный	Олиготрофный
Ровное	Олиготрофный	Олиготрофный
Пушкарево	Олиготрофный	Олиготрофный
Янтарный	Мезотрофный	Олиготрофный
Голубое	Мезотрофный	Олиготрофный
Форелевый	Мезотрофный	Олиготрофный
Пелавский	Мезотрофный	Олиготрофный
Свалка	Мезотрофный	Олиготрофный

Большинство видов зоопланктона, обнаруженного в данных водных объектах, относится к космополитам, что указывает на адаптацию к специфическим условиям техногенных водоемов. Эти результаты согласуются с гидрохимическими данными, подчеркивая роль возраста водоема в состоянии его экосистемы.

Заключение

На основании вышеизложенного, установлено, что наибольшими по площади водного зеркала являются карьер Янтарный и Форелевый, тогда как наименьшие значения отмечены для карьеров Пелавский и Свалка. Эти различия отражают вариабельность антропогенного воздействия на ландшафт и могут влиять на гидродинамические процессы в водоемах. По временным характеристикам образования водоемов, карьер Нивы относится к наиболее молодым объектам, в то время как карьеры Пелавский и Свалка характеризуются наиболее ранним периодом формирования. Возраст водоемов играет важную роль в сукцессионных процессах, влияя на их экологическое состояние и биоразнообразие гидробионтов.

Карьер Нивы демонстрирует специфические особенности в гидрохимических и гидробиологических параметрах, обусловленные его относительно недавним образованием и, как следствие, протекающими процессами первичной сукцессии.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР 01-44-002.2 «Изучение экологического состояния городских прудов Калининграда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домнин, Д. А. Особенности возникновения и развития обводнённых карьеров в гидрологической системе Калининградской области / Д. А. Домнин // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества : материалы III Международной научно-практической конференции, Челябинск, 13–15 октября 2023 года. – Челябинск : Край Ра, 2023. – С. 96–103.
2. Моисеенко, В. В., Цупикова, Н. А., Попов, А. А., Севостьянов, Н. В. Экологическое состояние водоемов системы Голубых озер по результатам гидрохимических исследований в 2023 г. Балтийский морской форум : материалы XII Международного Балтийского морского форума 30 сентября – 4 октября 2024 года [Электронный ресурс]: в 6 т. – Т. 3: Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов, XII Национальная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград : Издательство БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – С. 219–224.
3. Моисеенко, В. В., Цупикова, Н. А. Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный // Известия КГТУ. – 2023. – № 70. – С. 34–45. – DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-34-45.
4. Цупикова, Н. А., Лозицкая, Е. А., Алдушин, А. В. Морфометрические характеристики пруда Пелавского (г. Калининград) // Известия КГТУ. – 2018. – № 49. – С. 55–66.
5. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «II. Для водных объектов» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 г. № 1316-р. – ФГБУ УралНИИ «Экология», 2016. – 296 с.
6. Методы гидробиологических исследований внутренних вод. А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных [и др.] ; под ред. А. В. Крылова ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. Борок, Ярославская обл. : ИБВВ РАН ; Ярославль : Филигрань, 2024. – 592 с.
7. Андроникова, И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. – Санкт-Петербург : Наука, 1996. – 189 с.
8. Цупикова, Н. А. Экологическое состояние пруда Форелевого в Калининградской области в 2015–2016 годах / Н. А. Цупикова, Ю. С. Костыря // Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов: IV Балтийский морской форум : Всероссийская научная конференция : труды. – Калининград : Издательство БГАРФ, 2016. – С. 43–54.
9. Берникова, Т. А., Дубравин, В. Ф., Цупикова, Н. А., Шибаева, М. Н., Уманский, С. А. Экологическое состояние пруда Форелевого // Известия КГТУ. – 2005. – №7. – С. 30–34.

10. Лозицкая, Е. А., Цупикова, Н. А. Анализ некоторых гидрохимических показателей в пруду Пелавском (г. Калининград) в 2017 году. 62-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета : материалы конференции, Астрахань, 23–27 апреля 2018 года. – Астрахань : Астраханский государственный технический университет, 2018. – С. 32.

11. Беленькова, К. С., Фахрутдинова, В. А., Цупикова, Н. А. Предварительные результаты мониторинга карьеров «Мечта» и «Рыбачий» // Вестник молодежной науки. – 2023. – № 2(39).

12. Моисеенко, В. В. Экологическое состояние обводненного карьера возле п. Пушкирево (Калининградская область) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям. Биология внутренних вод. Перспективы и проблемы современной гидробиологии : Материалы XVII Всероссийской научной конференции молодых ученых, посвящённая 300-летию Российской академии наук, 170-летию со дня рождения Н. А. Морозова и 130-летию со дня рождения И. Д. Папанина, Борок, 21–25 октября 2024 года. – Ярославль : Канцлер, 2024. – С. 72.

13. Моисеенко, В. В. Цупикова, Н. А. Рыбоводно-экологическая характеристика обводненного карьера возле п. Нивы (Калининградская область). Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных условиях : сборник статей II международной научно-практической конференции, Саратов, 25–27 октября 2023 года. – Саратов : Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, 2023. – С. 292–300.

14. Афонина, Е.Ю., Ташлыкова, Н. А., Замана Л. В., Куклин, А. П., Абрамова, В. А., Чечель Л. П. Гидрохимия и гидробиология техногенных водоемов горнoprомышленных территорий юго-восточного Забайкалья. Аридные экосистемы. – Т. 28. – 2022. – № 4 (93). – С. 189–200.

CHARACTERISTICS AND ECOLOGICAL FEATURES OF FLOODED QUARRIES IN THE KALININGRAD REGION

^{1,2}Moiseenko Valentina Valerievna, Postgraduate Student;

Technician, Laboratory of Hidrobiology

¹Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna, Candidate of Geological-mineral Sciences,

Associate Professor Department of Water Bioresources and Aquaculture

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: tsoupikova@klgtu.ru

²Atlantic branch of the Russian Federal Research Institute

of Fisheries and Oceanography (AtlantNIRO), Kaliningrad, Russia,

e-mail: moiseenko@atlant.vniro.ru

Abstract. This paper presents the results of a reconnaissance survey of 14 water-filled quarries in the Kaliningrad Region. The water bodies were classified based on morphometric, hydrochemical, and hydrobiological parameters. Key features of ecosystem development were identified in relation to the age and geographical location of the quarries, with particular emphasis on the young Nivy quarry and the oldest studied sites, Pelavsky and Svalka.

Keywords: Flooded quarries, morphometry, hydrochemistry, zooplankton, clustering, Kaliningrad Region

К ВОПРОСУ О ТИПИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ВОДОЕМОВ: ПРОБЛЕМЫ ГИДРОНИМИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ Г. КАЛИНИНГРАДА

¹Севостьянова Екатерина Александровна, канд. биол. наук,
ведущий инженер, ст. преподаватель кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
²Цупикова Надежда Александровна, канд. геол.-мин. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры
³Севостьянов Никита Владимирович, аспирант

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru,
²tsoupikova@klgtu.ru; ³nikita.sew@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются водные объекты города Калининграда. Основная цель заключается в систематизации существующих проблем идентификации и классификации водоемов города, обусловленных фрагментарностью и недостаточностью доступных сведений. Приведены первые результаты кластеризации озер и прудов по площади водного зеркала, и дана предварительная типологизация объектов по генезису и пространственной локализации.

Ключевые слова: водоемы, пруды, озера, типизация, морфометрия, Калининград

В черте г. Калининграда и его пригородной зоне насчитывается более трех десятков водоемов, преимущественно антропогенного происхождения. Условно их можно разделить на водоемы, созданные и, в основном используемые, как объекты ландшафтно-эстетического назначения (включая рекреационные), водоемы, для производственных нужд и водохранилища. Большинство из исследуемых водоемов в настоящее время выполняют рекреационные функции. Несмотря на обилие водных объектов города, большинство из них все еще недостаточно изучены. Учитывая это, проведение типизации водоемов с учетом их специфических особенностей приобретает особую значимость и может создать методологическую основу для выявления схожих экологических проблем. Это позволит усовершенствовать систему управления водными ресурсами г. Калининграда.

Для проведения типизации 39 водных объектов г. Калининграда и прилегающих к нему территории были использованы литературные сведения, данные публичной кадастровой, сводной карт г. Калининграда, материалы аэрофотосъемки. Были привлечены картографические материалы Калининграда и Кенигсберга за период с 1775 г. по настоящее время [1], а также результаты исследований кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «КГТУ». Морфометрические параметры определялись с использованием геоинформационных систем на основе спутниковых снимков открытых картографических сервисов Google, Yandex, а также в ходе натурных гидрометрических работ с применением эхолотирования и GPS-позиционирования.

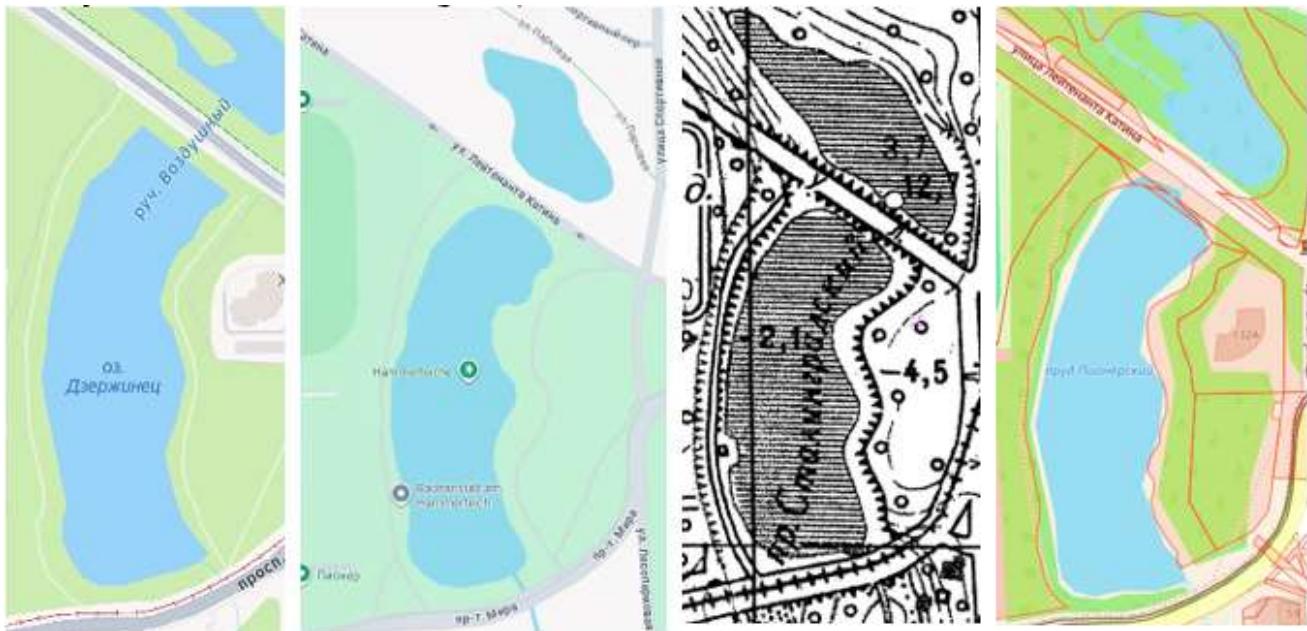
Одной из актуальных проблем города и области является отсутствие официально закрепленных названий для многих водных объектов, что приводит к их стихийному наименованию или характеристики по территориальной привязке. Происхождение многих гидронимов остается неясным в силу сложности их этимологии. Данное явление характерно не только для Калининградской области, но и для многих других регионов России. Зачастую один и тот же водный объект может иметь различное наименование в источниках, что создает трудности в их идентификации и учете [2-4]. В связи с этим изучение топонимии (гидронимии) приобретает не только историко-культурную, филологическую значимость [3], но и практическую ценность для научных изысканий в области гидрологии, экологии водных систем и рационального природопользования [5].

Примером стихийного наименования водных объектов г. Калининграда может выступать водоем, который на картах изображен как «озеро Свалка». Вероятно, название использовалось с применением территориальной привязки, т.к. озеро расположено неподалеку от ныне рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов (рис. 1).



Рис.1. Неофициальное название одного из водоемов г. Калининграда на картах Google

Зачастую вопросы по наименованию возникают и с водоемом, расположенным на пересечении ул. Бассейной и пр. Мира. Встречаются варианты как «Хаммер», «Дзержинец», «Сталинградский» – последние появились в советский период. На некоторых картах водоем вовсе не имеет названия, из-за чего в обиходе местных жителей его упоминают как «Пионерский», из-за расположения у одноименного стадиона (рис. 2).



*Рис.2. Разнообразие наименования водного объекта в различных источниках.
1 – Яндекс карты, 2 – Гугл карты, 3 – Топографическая карта, 4 – Кадастровая карта*

Попытки провести изучение гидронимов города проводил А.Б. Губин [6]. Сам исследователь отмечал скучность информационной базы города. Значительный вклад в процесс идентификации водных объектов города внес архивный документ «Приложение к решению Калининградского горисполкома, от 18 августа 1949 г. № 429 «Изложение перечня озер, рек, прудов и ручьев города Калининграда,

подлежащих наименованию вновь», однако часть из указанных там объектов впоследствии переименовались и точно установить их местоположение в настоящий момент не представляется возможным. К таковым, например, относятся Кировское озеро (Спорт парк), Московский район, Кутузовское озеро (Егерсфорт). Зачастую отнесение тех или иных водных объектов, изложенных в перечне, носит характер предположений. На сайте Администрации города Калининграда размещена информация о водных объектах Калининграда с их кратким описанием (на 1 января 2005 г.), где также отмечены несостыковки в названиях водных объектов: Белое озеро – водоем, расположенные на проспекте Победы, также зачастую именуется водохранилищем Менделеевским.

Следующей проблемой изучения и учета водных ресурсов является отсутствие четких критериев разграничения водных объектов на категории «пруд» и «озеро», «водохранилище». ГОСТ 17.1.1.02–77 относит к типу «водоем» следующие виды: озеро, водохранилище, пруд, болото, но без упоминания характерных черт каждого из них. Отнесение водоема является важной характеристикой. т.к. согласно Водному кодексу РФ вид влияет на его правовой статус (например, пруды могут находиться в частной собственности, а озера – нет). В литературе и нормативных документах озеро традиционно определяется как естественный водоем с замедленным водообменом, понятие «пруд» чаще применяется для водоемов искусственного происхождения или водохранилищ размером менее 1 км² [7-9]

Происхождение озерной котловины определяет главные типические особенности водоема. Согласно проведенным вычислениям, большинство водных объектов Калининграда имеет размеры менее 1 км² и искусственное происхождение, вследствие чего их с гидрологической точки зрения вернее именовать «прудами» (табл. 1). Исключение составляют бывшие карьеры и русловые водоемы, имеющие, зачастую, гораздо большие размеры.

Таблица 1
Водные объекты г. Калининграда (в алфавитном порядке)

№	Название, встречаемое в литературе или картах	Месторасположение	Происхождение	Площадь, га
1	Белое озеро	В конце проспекта Победы, на пересечении с Северным обходом	1960-1970 гг. Вероятно, карьер (расширение Менделеевского вдхр.)	12,8
2	Ботанический пруд	Ботанический сад.	Начало 20 века Ландшафтно-архитектурный объект	7,2
6	Верхний пруд	К западу от музея Янтаря	1270 г. для накопления воды и разведения рыбы	29,3
3	Водоем без названия западнее Голубого озера	К востоку от Рабочего пер.	1950-1970 гг. Бывший карьер по добыче ПГМ	4,1
4	Водоем без названия западнее Голубого озера	К западу от Рабочего пер.	1950-1970 гг. Бывший карьер по добыче ПГМ	5,5
5	Водоем без названия к западу от оз. Карповского	Западнее оз. Карповское	Чуть позже оз. Карповского (1950-1966 гг.). Неизвестно	2,6
7	Ворошиловский пруд	На западном углу улиц Суворова и Транспортная	Неизвестно, вероятно, первая половина 20 в для производственных нужд.	8,7
8	Восточный пруд в парке Южном	Парк Южный, примыкает к ул. Аллея Смелых	Начало 20 в., формирование паркового ландшафта	6,4
9	Голубое озеро	К северо-востоку от Рабочего пер. и Мамоновского шоссе	1950-1970 гг. Бывший карьер по добыче ПГМ	26
10	Дзержинец озеро	Между ул. Катина, Бассейной и пр. Мира.	Начало 20 века. Русловой водоем для отдыха и купания	2,2
11	Западный пруд в парке Южном	Парк Южный, примыкает к ул. Железнодорожной	Начало 20 в., формирование паркового ландшафта	4,2

№	Название, встречаемое в литературе или картах	Месторасположение	Происхождение	Площадь, га
12	Зимнее озеро	К юго-западу от пересечения ул. Батальная и Судостроительная	Конец 19 - начало 20 века. Для нужд пивоваренного завода	1,5
13	Карповское озеро	Ранее пос. Прегольский, конец Пальмового проезда	Середина 20 века. Вероятно, после добычи песка или торфа	8,5
14	Лесное водохранилище	К северу от пересечения ул. Новгородской и Северного обхода	Западная часть – 1950-1955 гг., восточная – конец 20 века. Вероятно, карьер.	11,7
15	Лесное озеро	Парк им. Макса Ашманна	Начало 20 века. Часть парка	2,7
16	Летнее озеро	К востоку от ул. Летняя	Конец 19 -начало 20 века. Для нужд пивоваренного завода	3,1
17	Мельничный пруд	Пересечение улицы Емельянова с Окружной дорогой	Неизвестно, отслеживается на картах начала 19 века. Вероятно, на нем располагалась мельница.	14,3
18	Менделеевское вдхр.	Проспект Победы, западнее пер. Лесная аллея, восточнее оз. Белого	1910-1920-е гг. Вероятно, карьер для добычи ПГМ, впоследствии используемый как водохранилище	13,3
19	Нансенский пруд 1	Первый водоем к западу от пересечения ул. Железнодорожной и Суворова	Середина 20 в. Нарушение мелиоративной системы.	1,7
20	Нансенский пруд 2	Второй водоем к западу от пересечения ул. Железнодорожной и Суворова		4,5
21	Нансенский пруд 3 (возможно, обособленная часть второго пруда)	Третий водоем к западу от пересечения ул. Железнодорожной и Суворова		1,8
22	Нансенский пруд 4	Четвертый водоем к западу от пересечения ул. Железнодорожной и Суворова		7,1
23	Нансенский пруд 5	Пятый водоем к западу от пересечения ул. Железнодорожной и Суворова		7,5
24	Нескучный пруд	в конце улиц Янавова и Бассейной	Неизвестно. Очертания прослеживаются на картах середины 19 века. Немецкое название может указывать на частное владения княжеской семьей	8,5
25	Нижний пруд	К востоку от ул. Пролетарской	1256 г. для накопления воды	7,1
26	Парковый пруд	Между ул. Дмитрия Донского и ул. Велосипедная дорога; восточнее ручья Паркового	Ближе к середине 20 в.	0,3
27	Пелавское озеро	Балтийское шоссе, около здания 115	Середина 20 века. Бывший карьер по добыче ПГМ.	4,3
28	Пеньковое озеро	К северо-востоку от пересечения ул. Коммунистическая и Южный обход.	Неизвестно. Появилось на заболоченной территории в 19 в.	12,2
29	Питьевое вдхр. 1	Пос. Малое Борисово. Севернее ул. Надежная	Середина 20 века. Название свидетельствует о питьевом назначении. Вероятно, заполнено водами р. Преголи	24,7
30	Питьевое вдхр. 2	Пос. Малое Борисово. К востоку от ул. Надежная	1995-2005 гг. Название свидетельствует о питьевом назначении.	21,6

№	Название, встречаемое в литературе или картах	Месторасположение	Происхождение	Площадь, га
31	Поплавок пруд	Пересечение Проспекта мира и ул. Энгельса	Начало 20 века для украшения городского ландшафта и предотвращения возможных подтоплений	2,6
32	Пруд в парке Победы	К западу от памятника 1200 Гвардейцам.	Неизвестно. Вероятно, часть оборонительного укрепления.	1,5
33	Свалка озеро	Восточнее оз. Пелавского	Западная часть водоема 1945-1950 гг., восточная – конец 20 века. Вероятно, карьер.	10,6
34	Филиппов пруд	Пересечение Северного обхода и Кленовой аллеи	Неизвестно. Предположительно, водоснабжение города	11,5
35	Форелевое озеро	К северу от Мамоновского шоссе 12А	1950-1970 гг. Бывший карьер по добыче ПГМ	112
36	Чистое озеро	Междупос. Большое Искаково и Заозерье	Неизвестно – до 1775 г. Бывший мельничный пруд.	91,2
37	Шенфлиз пруд	К западу от ул. Дзержинского. Около домов № 198, 216	Начало 20 в. Бывший карьер, пожарный водоем.	9,1
38	Школьный пруд	в конце ул. Красная	Середина 20 века. Неизвестно.	3,4
39	Ялтинский пруд	К востоку от Закхаймских ворот	Середина 18 века для нужд медеплавильного завода	1,7

В ходе анализа выявлены существенные различия в возрасте исследованных водных объектов. Для некоторых озер и прудов происхождение и точные периоды возникновения определить не удалось. Часть из водоемов возникли в советский период и по одной из классификаций [10] могут быть отнесены к категории старых (старше 50 лет), при этом некоторые, такие как пруды Верхний и Нижний, имеют гораздо больший возраст и существуют с XIII века. Существует сложность в определении четкой границы деления водоемом на «старые» и «молодые», ведь при рассмотрении истории городских водных объектов иногда даже столетние водоемы можно охарактеризовать как относительно молодые, поэтому термины предпочтительнее использовать в сравнительном контексте.

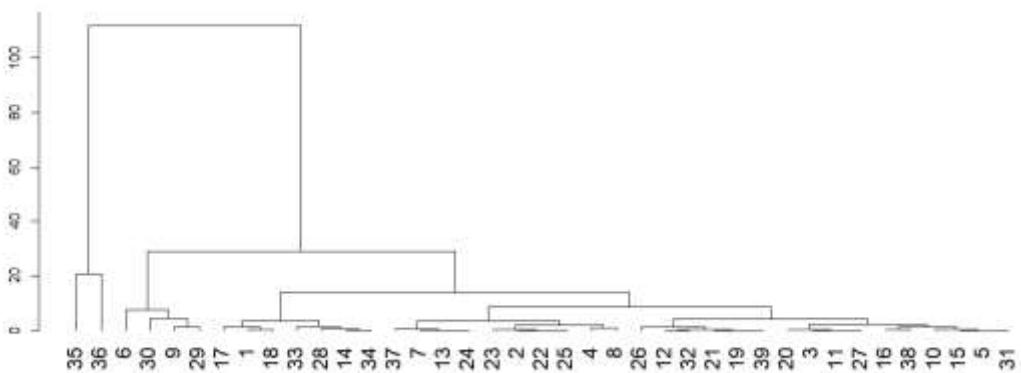
Использование площади как критерия типизации водных объектов является широко распространенной практикой [7, 11-13]. Существующая в ГОСТ классификация не обеспечивает достаточной дифференциации водоемов, т.к. она не учитывает особенности небольших объектов площадью меньше 10 км². Это ограничение делает нормативный документ малоприменимым для водоемов урбанизированных территорий и приводит к необходимости использования авторских классификаций. По П.В. Иванову [13] большая часть водных объектов относится к типу «озерки» – 0,001-0,1 км², что представляет наименьший тип в предложенной им классификации. Прочие попадают в тип «очень малые» (от 0,1 до 1 км²).

С целью систематизации исследуемых водных объектов был применен метод иерархической кластеризации, основанной на матрице расстояний. В качестве классификационного признака использован показатель площади водного зеркала. Все 39 водоемов были разделены на 4 значимых кластера (табл. 2, рис. 3).

Таблица 2

Кластеризация водоемов г. Калининграда

Наименование	Размер	Доля, %	Водоемы
Кластер 1: мельчайшие	0–5 га	41,0	Пруд Поплавок, озеро Лесное, водоем без названия к западу от Карповского, озеро Дзержинец, пруд Ялтинский, пруд Школьный, озеро Летнее, озеро Зимнее, пруд Западный в парке Южном, пруд в парке Победы, Нансенский пруд 1-3, Парковый пруд, озеро Пелавское, водоем без названия западнее Голубого озера
Кластер 2: очень малые	5–10 га	25,6	водоем без названия западнее Голубого озера, пруд Восточный в парке Южном, пруд Нижний, пруд Нескучный, озеро Карповское, пруд Шенфлиз, Нансенский пруд 4 -5, Ботанический пруд, Ворошиловский пруд
Кластер 3: малые	10–30 га	28,2	Пруд Мельничный, пруд Филиппов, озеро Свалка, Лесное водохранилище, Менделеевское вдх., озеро Пеньковое, озеро Белое, Голубое озеро, вдхр. Питьевое 1-2, пруд Верхний
Кластер 4: средние	>30 га	5,1	Озеро Чистое, озеро Форелевое



*Рис. 3. Дендрограмма иерархической кластеризации водоемов по площади зеркала
(цифры соответствуют № водоема по табл.1)*

Наибольшее количество водоемов относится к категориям мельчайших и очень малых (0-10 га). Они являются неотъемлемым и широко распространенным элементом городской структуры, равномерно рассредоточенным по всей территории города. Более крупные водные объекты преимущественно локализованы на окраинах города и в ближайшей пригородной зоне. Кластер «средние» представлен двумя объектами, но несмотря на малое количество занимают наибольшую суммарную площадь. Предложенная номенклатура кластеров требует дальнейшего уточнения, т.к. может вступать в противоречие с существующими классификациями прудов.

Таким образом, водные объекты Калининграда отличаются высокой степенью разнообразия, как по площади, так по генезису и функциональному использованию. Даже их количество может сильно различаться в зависимости от способа оценки. Проведенная типизация указывает, что большинство водных объектов города (66,6 %) относятся к категориям до 10 га (мельчайшим и очень малым), что обуславливает их высокую уязвимость к внешним воздействиям, поскольку характер деятельности человека для таких водоемов является определяющим фактором.

В соответствии с современной парадигмой устойчивого городского развития, водоемы, несомненно, играют важную роль в формировании экологического каркаса города, выполняя средообразующие, климаторегулирующие и биоценотические функции. Это подчеркивает актуальность сохранения и восстановления даже мельчайших водных объектов. Формирование единого информационного реестра водных объектов г. Калининграда, включающего пространственные привязки, морфометрические характеристики и официально установленные гидронимы, является основой для эффективного управления водными ресурсами, а их изучение позволяет не только разрабатывать научно-обоснованные прогностические модели, но и формировать практические рекомендации по их сохранению и восстановлению с учетом особенностей каждой группы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Это место: старые карты России и мира онлайн. – URL: <http://www.etomesto.ru/kaliningrad/> (дата обращения: 20.08.2025).
2. Карасев, Е. К. К вопросу о происхождении названий водных объектов в английском, русском и татарском языках / Е. К. Карасев, И. Г. Ахметзянов, В. Н. Хисамова // Казанский вестник молодых ученых. – 2018. – № 2 (5). – С. 105–110.
3. Донскова, Г. А. Гидронимы и принципы их изучения / Г. А. Донскова, С. Г. Турегалиева // Вестник ЗКГУ. – 2019. – № 4(76). – С. 314–317.
4. Федченко, О. Д. Балтская гидронимия Камско-Вятского региона / О. Д. Федченко // Вестник Удмуртского университета. Серия «История и филология». – 2019. – № 6. – С. 924–932.
5. Жерелина, И. В., Жоров, В. А., Постнова, И. С., Поломошнова Н. В., Брютова О. В. Опыт и проблемы применения на практике сведений, включенных в государственный водный реестр // ВХР. – 2024. – №5. – С. 5–20.
6. Губин, А. Б. Топонимика Калининграда. Реки и водоемы / А. Б. Губин // Калининградские архивы. – 2007. – Вып. 7. – С. 197–228.
7. ГОСТ 17.1.1.02–77 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Классификация водных объектов. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1992. –22 с.
8. ГОСТ 19179–73. Гидрология суши. Термины и определения. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 36 с.
9. Статья 5 ВК РФ (действующая редакция с комментариями). Поверхностные водные объекты и подземные водные объекты. – URL: <https://vodnkod.ru/glava-1/st-5-vk-rf> (дата обращения: 18.08.2025).
10. Башинский, И. В. и др. Мир малых водоемов: коллективная монография. – Москва : 2023. – 282 с.
11. Широков, В. М. Пруды Белоруссии / В. М. Широков, И. И. Кирвель. – Минск : Ураджай, 1987. – 120 с.
12. Мишон, В. М. Функционально-генетическая классификация прудов центрального Черноземья / В. М. Мишон // Вестник Воронежского государственного университета. Серия : География. Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 23–32.
13. Мякишева, Н. В. Многокритериальная классификация озер. – Санкт-Петербург : Издательство РГГМУ, 2009. – 160 с.

On the Typology of Urban Water Bodies: Issues of Hydronymy and Identification of Aquatic Features in the City of Kaliningrad

¹Sevostianova Ekaterina Aleksandrovna, Candidate of Biological Sciences,
Lead engineer, Senior Lecturer, Department of Aquatic Biological Resources and Aquaculture

²Tsupikova Nadezhda Aleksandrovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Associate Professor, Department of Aquatic Biological Resources and Aquaculture

³Sevostianov Nikita Vladimirovich, Postgraduate Student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹ekaterina.lozitskaya@klgtu.ru, ²tsoupikova@klgtu.ru, ³nikita.sew@yandex.ru

Abstract. This paper examines the aquatic features within the city of Kaliningrad. The primary objective of the study is to systematize current challenges related to the identification and classification of urban water bodies, which are largely due to the fragmentary and insufficient nature of available data. Initial results of a cluster analysis of lakes and ponds based on water surface area are presented, alongside a preliminary typology of these features according to their genesis and spatial distribution.

Keywords: water bodies, ponds, lakes, typology, morphometry, Kaliningrad

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМОВ ПАРКА ЮЖНЫЙ Г. КАЛИНИНГРАДА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

¹Цветкова Надежда Николаевна, канд. географ. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

²Масюткина Елена Андреевна, канд. биол. наук,
доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

³Гзирян Мариам Грайровна, магистрант по направлению подготовки
экология и природопользование

^{1,2,3}ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹nagornova@klgtu.ru,
²elenamasyutkina@klgtu.ru, ³gziryan.mariam@mail.ru

Аннотация. Цель – оценка экологического состояния по гидрохимическим и гидробиологическим показателям водоемов парка Южный города Калининграда. Гидробиологические исследования прудов Восточного, Западного и водоема, расположенного на пересечении улицы Дзержинского и аллеи Смелых представлены впервые. В результате анализа комплекса гидрохимических и гидробиологических факторов выявлена специфичность каждого водоема, не смотря на близость расположения, отмечено развитие экосистем по эвтрофному статусу и неблагоприятное экологическое состояние по содержанию биогенных и органических веществ, а также по количеству растворенного в воде кислорода.

Ключевые слова: городские водоемы, качество воды, экологическое состояние, гидрохимические показатели, гидробиологические показатели

Введение

В современных условиях увеличения темпов урбанизации, роста численности и плотности городского населения сохраняется актуальной проблема оптимизации и экологизации жизни горожан, которая реализуется через сохранение благоприятной окружающей городской среды, а также через повышение качества жизни горожан. Одним из аспектов комфортного существования человека в условиях города является грамотное ландшафтное планирование и функциональное зонирование урбанизированной среды. В формат подобных мероприятий укладывается поддержание устойчивого экологического состояния городских водных объектов. С точки зрения ландшафтно-экологического подхода городские водоемы и водотоки можно рассматривать как центральные звенья стержневых (водотоки) и нуклеарных (водоемы) геосистем. При этом сам водный объект выступает ключевым компонентом, задающим ритмику всей геосистемы, например, парковой зоны. Очевидно, что водоемы и водотоки в условиях города подвержены повышенной антропогенной нагрузке и риск дестабилизации их экологического состояния выше, чем в условиях естественных ландшафтов. Таким образом, исследование экологического состояния городских водоемов с целью характеристики современного комплекса абиотических и биотических факторов, а также прогнозирования направления дальнейшего развития водной экосистемы при сохраняющемся уровне нагрузки – перспективное и актуальное направление исследований.

Цель работы – характеристика экологического состояния по гидрохимическим и гидробиологическим показателям прудов Западного, Восточного и пруда без названия (район пересечения аллеи Смелых и ул. Дзержинского), расположенных в парке Южный города Калининграда.

Материалы и методы

Исследованиям экологического состояния городских водных объектов в настоящее время уделяется большое внимание [7]. В условиях повышающегося научного интереса к городским водоемам нами в 2021 году начаты наблюдения на пруде Восточном в парке Южном города Калининграда [1, 8]. Ввиду своеобразных гидрохимических условий пруда Восточного и наличия летних заморов в пр. Восточном и Западном в 2024 году начаты исследования на пр. Западном, а летом 2025 года – на водоеме без названия, расположенным на пересечении улицы Дзержинского и аллеи Смелых (рис. 1). Выбор этих водных объектов определялся наличием возможной связи между водоемами и, вероятно, общностью происхождения. Эти факторы в комплексе с влиянием городской среды могут определять современное состояние данных водных экосистем.

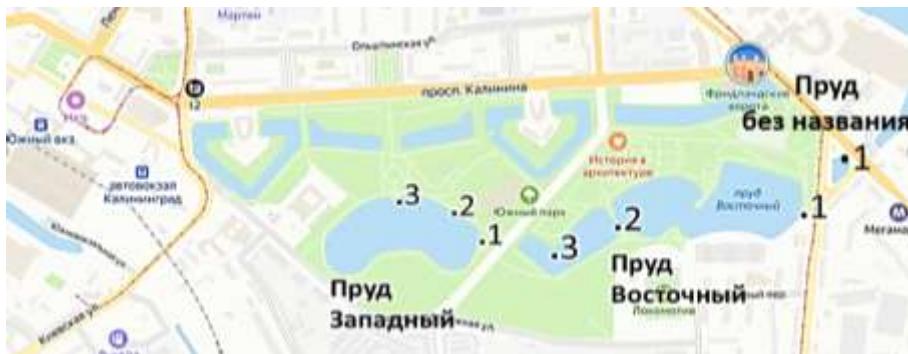


Рис. 1. Станции экологического мониторинга на прудах Южного парка в летний период 2025 г.

На прудах Западном и Восточном были выбраны три станции мониторинга, на пруду без названия, ввиду его малых размеров и крутых берегов, ограничивающих подход к водному объекту, намечена одна станция отбора проб воды на гидрохимический анализ. Расположение станций планировалось таким образом, чтобы были учтены все природные особенности водоёмов, а также влияние возможных источников загрязнения. Исследования проводились в летний период 2025 года, пробы отбирались ежемесячно, согласно рекомендациям, изложенным в [2]. Химический анализ осуществлялся в лаборатории института рыболовства и аквакультуры на кафедре водных биоресурсов и аквакультуры КГТУ по стандартным методикам [2, 4, 5]. Температура воды, содержание кислорода, уровень pH, величина ТДС определялись в момент взятия пробы с помощью электронных приборов. Экологическое состояние оценивалось по требованиям [3]. Выбор данного ГОСТа обоснован наличием в прудах развитого ихтиоценоза (по сообщениям рыбаков-любителей, а также по результатам визуального анализа последствий замора). Отбор и обработка проб зообентоса проводилась в соответствии с рекомендациями, изложенными в [6]. Для оценки экологического состояния анализировали видовую структуру и количественные параметры развития зообентоса, определяли показатели сапробности, Шеннона, Вудивисса, хирономидный индекс.

Результаты и обсуждения

Водоемы по своим морфометрическим параметрам относятся к «малым».

Температура воды в исследованный период в водоемах изменялась от 16,8 °C (пруд без названия, в июне) до 20,7 °C (пруд Западный, ст. 2 в июле). Наиболее прогретыми были воды пруда Восточного, наименее – пруда без названия. Максимальных значений температура воды достигла в июле в прудах Западном и Восточном и в августе – в пр. без названия.

Относительная прозрачность воды (по стандартному белому диску) в водоемах в исследуемый период изменялась от величины «до дна» в пруду без названия и на всех станциях в пр. Западном до 0,25 м – в июне и 0,37 м – в июле на ст. 2 в пруду Восточном. Изменения в прозрачности определяются сезонным развитием фито- и зоопланктона, а также интенсивными ливневыми осадками, особенно часто выпадавшими летом 2025 г.

Пруд Восточный характеризовался повышенной минерализацией вод. Здесь величина ТДС изменялась от 732 ppm в августе до 854 ppm в июле. Наименее минерализованными были воды пруда без названия, за исключением июля (ТДС = 940 ppm), что, вероятно, связано с загрязнением. В пр. Западном величина ТДС изменялась от 350 до 520 ppm.

Водородный показатель изменялся в широких пределах. В пруду без названия величина pH мало изменялась, находясь в диапазоне 7,00-7,60. Наибольший диапазон колебаний pH отмечен в пр. Западном – от 7,73 в июле до 9,20 в июне. В пр. Восточном уровень pH изменялся от 8,25 в июле до 9,10 в августе. Изменения величины pH вполне согласуются с биохимическими процессами, об интенсивности которых можно судить по изменениям в концентрации O_2 , а также CO_2/CO_3^{2-} . В пруду без названия отмечен дефицит растворенного кислорода в июне и июле, и недосыщение – в августе. Так абсолютное содержание O_2 изменялось здесь от 1,35 mg/dm³ (в июне, 17 % насыщения) до 7,07 mg/dm³ (в августе, 76 % насыщения). В этом же водоеме во все месяцы в воде был растворен углекислый газ (7,91 mg/dm³ в августе; 41,36 mg/dm³ - в июне). В пр. Восточном величина кислорода изменялась от 7,36 mg/dm³ (80 % насыщения) до 18,58 mg/dm³ (ст. 2, август, 200 % насыщения). CO_2 не обнаружен. Во все месяцы в воде фиксировались карбонаты – до 8,61 mg/dm³. Наиболее спокойный ход кислорода наблюдался в пр. Западном. Концентрация растворенного O_2 изменялась от 7,25 mg/dm³ до 8,67 mg/dm³, что составляло 82 % и 92 % насыщения. В июле и августе в воде пр. Западного были растворены карбонаты, но их концентрация не превышала 1,00 mg/dm³. В июне – на ст. 3 был растворен CO_2 – 11,88 mg/dm³, что при достаточно высоком уровне pH (>9,0) может свидетельствовать о нарушении биохимических процессов.

Органические вещества оценивались по величине БПК₅ и перманганатной окисляемости. БПК₅ было исследовано в августе и мало изменялось в водоемах: от 8,15 mgO₂/dm³ в пруду без названия до 8,37 mgO₂/dm³ в пр. Восточном. Больше всего легкоразлагаемых органических веществ растворено в пр. Восточном и пр. без названия. В этих водоемах окисляемость изменялась от 16,00 mgO/dm³ до 32,42 mgO/dm³. В пр. Западном величина перманганатной окисляемости изменилась от 13,15 до 16,00 mgO/dm³.

Концентрация NH_4^+ изменялась от 2,0 до 2,9 mg/dm³ в пр. без названия; от 0,6 до 1,0 mg/dm³ – в пр. Восточном и от 0,2 до 0,4 mg/dm³ – в пр. Западном. Нитритов было растворено больше в пр. Восточном: 0,03-0,1 mg/dm³, в пр. без названия – до 0,08 mg/dm³ и в пр. Западном – не более 0,01 mg/dm³. Нитратов было растворено мало (не более 5,0 mg/dm³), что естественно для данного периода, ведь накопление нитратов начинается в поствегетационный период. Больше всего PO_4^{3-} отмечено в пр. без названия – до 0,5 mg/dm³, чуть меньше фосфора растворено в пр. Восточном – 0,4 mg/dm³. В пруду Западном концентрация PO_4^{3-} не превышала 0,03 mg/dm³ во весь период исследования. Концентрация железа позволяет косвенно оценить влияние подземных вод на формирование гидрохимических условий в водоемах, так как природные гидрогеологические особенности Калининградского региона обеспечивают перегруженность грунтовых вод железом. Максимальные концентрации железа отмечены в пр. Восточном – до 0,6 mg/dm³ в июле, минимальные – в пр. Западном – не более 0,1 mg/dm³. В пр. без названия железа растворено от 0,1 до 0,4 mg/dm³.

Сравнение гидрохимических параметров с требованиями, представленными в [3] (таблица 1), показало, что по большинству параметров исследованные водоемы относятся к «загрязненным», класс сапробности – «альфа-, бетамезосапробный».

Характеристика качества воды по гидрохимическим показателям

Наименование показателя	Характеристика качества воды		
	Пруд Западный	Пруд Восточный	Пруд без названия
O ₂ , % насыщения	Чистые воды/олигосапробные	Загрязненные воды/альфамезосапробные	Грязные воды/полисапробные
BPK ₅ , мгO ₂ /дм ³	Грязные воды/полисапробные	Грязные воды/полисапробные	Грязные воды/полисапробные
Перманганатная окисляемость, мгO/дм ³	Загрязненные воды/бета-мезосапробные	Загрязненные воды/альфамезосапробные	Загрязненные воды/альфамезосапробные
Аммоний ион, мг/дм ³	Загрязненные воды/бета-мезосапробные	Загрязненные воды/альфамезосапробные	Грязные воды/полисапробные
Нитрит ион мг/дм ³	Грязные воды/полисапробные	Загрязненные воды/бета-мезосапробные	Загрязненные воды/бета-мезосапробные
Нитрат ион, мг/дм ³	Чистые воды/олигосапробные	Чистые воды/олигосапробные	Чистые воды/олигосапробные
Фосфат ион, мг/дм ³	Чистые воды/олигосапробные	Загрязненные воды/альфамезосапробные	Грязные воды/полисапробные

Напряженность экологической ситуации по гидрохимическим показателям нарастает в направлении от пруда Западного (наиболее благоприятное экологическое состояние) к пруду без названия (наиболее неблагоприятное экологическое состояние).

Для более объективной картины современного экологического состояния водоемов парка Южный необходимо провести анализ результатов гидробиологического исследования, так как устоявшиеся сообщества организмов позволяют судить о сложившихся условиях обитания за продолжительное время, тогда так гидрохимические параметры водных объектов могут изменяться в широких пределах за короткое время и позволяют оценить экологическое состояние экосистемы лишь в период исследования.

В составе зообентоса рассматриваемых прудов обнаружено 20 видов. Все виды неоднократно встречались в водоемах Калининградской области [9]. Наиболее разнообразно представлены личинки комаров-звонцов – 8 видов. Разнообразие пиявок и олигохет представлено 3 видами в каждой группе. Среди ракообразных обнаружено 2 вида. По 1 виду приходится на личинок поденок и мокрецов, моллюсков и водяных клещей.

Между прудами Западный и Восточный наблюдается высокое сходство фауны зообентоса, что подтверждается значениями индекса сходства (0,62). В то же время в пруду Западный разнообразие видов несколько выше, чем в Восточном. Только в этом пруду были обнаружены такие представители ракообразных, как речные раки и водяные ослики. Также в этом пруду шире представлены пиявки.

Зообентос пруда без названия очень беден и представлен всего 2 видами личинок хирономид (*Chironomus sp.* и *Tanypus vilipennis* Kief.). Эти виды способны обитать в водоемах с дефицитом кислорода и большим содержанием органических веществ. Таким образом, видовое сходство зообентоса пруда без названия с остальными рассматриваемыми водоемами очень низкое. Общим для всех прудов является только один вид *Chironomus sp.*, но количественное развитие этого вида в рассматриваемых прудах различается. Его относительное обилие увеличивается в ряду пруд Западный – пруд Восточный – пруд без названия.

Структура зообентоса пруда Западный более выровнена, что отражается на индексе Шеннона (2,76). Основу численности составляют разнообразные виды личинок хирономид, ракообразных, пиявки и поденки. По биомассе доминируют крупные и тяжелые моллюски и раки.

Зообентос пруда Восточный сформирован преимущественно личинками хирономид и олигохетами (среди которых доминируют представители из рода *Chironomus* и *Limnodrilus hoffmeisteri* Clap.). Значения индекса Шеннона для этого водоема несколько ниже, чем для пруда Западный (2,26).

Зообентос пруда без названия сформирован исключительно личинками хирономид, преимущественно из рода *Chironomus*. Личинки этого рода развиваются в массе, их численность и биомасса превышают 90 %.

В составе зообентоса всех прудов преобладают α -мезосапробные виды, т.е. виды, способные выдерживать значительное загрязнение воды. Более высокие значения индекса сапробности (более 2,8) наблюдались в прудах без названия и Восточном, в пруду Западном показатель сапробности несколько ниже (около 2,55).

Значение хирономидного индекса Балушкиной в исследованных прудах колеблется от 6,5 до 7,00, что соответствует загрязненной воде.

Низкие значения индекса Вудивисса (около 2) указывают на неблагоприятную экологическую обстановку в пруду без названия. В пруду Восточном и Западном данный показатель немного выше и составляет 3 и 5 соответственно.

Анализируя видовое разнообразие и количественные показатели развития зообентоса в прудах, можно отметить следующую тенденцию: видовое разнообразие и выровненность структуры зообентоса снижаются, а численность и биомасса мягкого бентоса увеличивается в ряду: пруд Западный – пруд Восточный – пруд без названия. В этом же направлении ухудшается качество воды. По структурным и функциональным характеристикам зообентоса воду в прудах Восточный и Западный можно охарактеризовать как α -мезосапробную, загрязненную. Причем состояние воды в пруду Западный близко к переходной зоне от умеренно-загрязнённой к загрязненной. Состояние пруда без названия можно оценить как грязное.

Выводы

1. Не смотря на близость расположения водоемов их гидрохимические особенности отличаются специфичностью и определяются не только погодными условиями рассматриваемого сезона, но и местными факторами – более выраженным влиянием подземных вод, локальными источниками загрязнения.

2. Фауна зообентоса в прудах Западный и Восточный очень сходна по видовому составу. Пруд без названия сильно выделяется обедненным видовым составом бентоса.

3. Зообентос прудов формируют виды, способные выдерживать значительное загрязнение воды.

4. Экологическое состояние изученных водных объектов неблагоприятное, так как по большинству исследованных показателей пруды относятся к «загрязненным» или «грязным».

5. В условиях городской среды необходим постоянный контроль над экологическим состоянием водных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гзиран, М. Г., Цветкова, Н. Н. Гидрохимическая характеристика пруда Восточного, расположенного в парке Южном г. Калининграда, по наблюдениям в 2022–2023 гг. // Вестник молодежной науки. – 2023. – №5 (42). – URL: <https://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2023/12/Statya-3-Gziryan-ispravлено-1-5.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Гидрология. Лабораторный практикум и учебная практика / Т. А. Берникова [и др.]. – Москва : Колос, 2008. – 303 с.
3. ГОСТ 17.1.2.04-77 Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.
4. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ.
5. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ.
6. Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных и др.; под ред. А. В. Крылова; Министерство науки и высшего образования РФ, РАН, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН. – Борок, Ярославская обл. : ИБВВ РАН. – Ярославль : Филигрань, 2024. – 592 с.
7. Севостьянова, Е. А. Экологическое состояние малых водоемов урбанизированных территорий (на примере г. Калининграда) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2024. – 25 с.

8. Ширчкова, А. Н., Цветкова, Н. Н., Суворова, К. А. Гидрохимическая характеристика пруда Восточного, расположенного в парке Южном г. Калининграда, по наблюдениям, выполненным в 2021–2022 гг. // Вестник молодежной науки. – 2023. №1 (38). – URL: https://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2023/05/Statya-10-SHirchkova_red.-1.pdf (дата обращения: 19.09.2025).

9. Shibaeva, M. N. Hydrobiological characteristics of water bodies in the Kaliningrad Region / M. N. Shibaeva, E. A. Masyutkina, S. V. Shibaev // The Handbook of Environmental Chemistry. – 2018. – Vol. 65. – Pp. 285–316. – DOI 10.1007/698_2017_99.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOME WATER BODIES OF THE YUZHNY PARK IN KALININGRAD IN THE SUMMER PERIOD

¹Tsvetkova Nadezhda Nikolaevna, PhD in Geography, associate professor

²Masytkina Elena Andreevna, PhD in Biology, associate professor

³Gziryan Mariam Grayrovna, student

^{1,2,3}Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹nagornova@klgtu.ru, ²elena.masyutkina@klgtu.ru, ³gziryan.mariam@mail.ru

Abstract. The purpose of the work is to assess the ecological state based on hydrochemical and hydrobiological indicators of reservoirs in the Yuzhny Park of Kaliningrad. Hydrobiological studies of the ponds of Vostochny, Zapadny and the reservoir located at the intersection of Dzerzhinsky Street and alley of the bold are presented for the first time. As a result of the analysis of a complex of hydrochemical and hydrobiological factors, the specificity of each reservoir was revealed, despite the proximity of the location, the development of ecosystems in terms of eutrophic status and an unfavorable ecological state in terms of the content of biogenic and organic substances, as well as the amount of dissolved oxygen in the water.

Keywords: urban water bodies, water quality, ecological state, hydrochemical indicators, hydrobiological indicators