Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирский филиал ФГБОУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
(ЗапсибВНИРО)

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ И АКВАКУЛЬТУРЫ»

Материалы
(08-09 ноября 2023 г., г. Новосибирск)

Новосибирск 2023

УДК 556.1115:591+639.1
ББК 28.082

Современное состояние водных биоресуров и аквакультуры: материалы научно-практической VII международной конференции, г. Новосибирск, 08-09 ноября 2023 г. / под ред. Е. В. Пищенко, И. В. Морузи. – Новосибирск: НГАУ. – 2023. – 222 с.

В сборнике опубликованы материалы, представляющие результаты научных исследований доложенных на VII Международной конференции «Современное состояние водных биоресуров и аквакультуры» (08-09 ноября 2023 г., г. Новосибирск). В них рассматриваются вопросы биоразнообразия, структуры, динамики популяций и сообществ гидробионтов, состояние запасов, воспроизводство, ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов аквакультуры.

Издание представляет интерес для гидробиологов, ихтиологов, ихтиопатологов, работников рыбного хозяйства, специалистов-экологов и может быть полезно преподавателям вузов, аспирантам и студентам.

Статьи печатаются в авторской редакции

The collection contains materials representing the results of scientific research reported at the International conference "The current state of aquatic bioresources and aquaculture" (November 08-09, 2023, Novosibirsk). They address issues of biodiversity, structure, dynamics of populations and communities of hydrobionts, state of reserves, reproduction, and ichthyopathological state of reservoirs and aquaculture facilities.

The publication is of interest to hydrobiologists, ichthyologists, ichthyopathologists, fisheries workers, environmental specialists and can be useful for University teachers, graduate students and students.

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2023 г.
Входит в РИНЦ®: да

УДК 574.3:575.2

РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМЫ ТЕЛА ИНВАЗИОННОГО ЛЕЩА, АБОРИГЕННОЙ ПЛОТВЫ И ИХ ГИБРИДОВ В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФНОГО ВОДОЕМА (СРЕДНИЙ УРАЛ)

В.Ю. Баранов
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
e-mail: vadimb4@yandex.ru

Аннотация. Методами геометрической морфометрии сравнили внутригрупповое разнообразие формы тела инвазионного леща *Abramis brama*, аборигенной плотвы *Rutilus rutilus* и их гибридов при совместном обитании в эвтрофном озере Среднего Урала, не испытывающего прямого антропогенного воздействия. В синтопных популяциях обоих родительских видов из оз. Шитовское установлены сходные низкие уровни внутригруппового разнообразия формы тела (MNND). Внутригрупповое морфологическое разнообразие достоверно выше в выборке гибридов леща и плотвы.
Ключевые слова: лещ; плотва; гибрид леща и плотвы; морфологическое разнообразие; геометрическая морфометрия; Средний Урал.

BODY SHAPE DISPARITY OF INVASIVE BREAM, NATIVE ROACH AND THEIR HYBRIDS IN EUTROPHIC RESERVOIR (MIDDLE URALS)

V.Yu. Baranov
Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia,
e-mail: vadimb4@yandex.ru

Summary. The disparity of the body shape of the invasive bream Abramis brama and native roach Rutilus rutilus and their hybrids in eutrophic lake of the Middle Urals with no direct anthropogenic impact was studied using geometric morphometrics methods. The similar low levels of within-group body shape disparity (MNND) were identified in syntopic populations of both parental species from the lake Shitovskoye. Within-group morphological disparity is significantly higher in hybrid sample.
Keywords: bream; roach; hybrid of bream and roach; morphological disparity; geometric morphometrics; the Middle Urals.

Инвазионные виды рыб, проникая и расселяясь за пределы своего ареала, приводят к изменению состава и структуры местных сообществ рыб, нарушая сбалансированность исторически сложившихся биоценотических отношений [9]. При вселении осуществляются селективные процессы адаптивной перестройки индивидуального развития в популяциях аборигенных видов и вида-интродуцента, возможно появление гибридных особей. В этой связи актуальным становится эволюционно-экологическое изучение отдаленных последствий интродукции и гибридизации видов, включая оценку направлений их морфогенетических перестроек.

Лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758) и плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) при совместном обитании и определенном сочетании природно-климатических, гидрологических и экологических условий образуют гибридных особей. Между родительскими видами и гибридами в сообществе существует тесная эколого-биологическая связь [4]. В результате естественного расселения леща, который был

интродуцирован в водоёмы восточного склона Среднего Урала в середине 19 века, этот вид-вселенец хорошо адаптировался в уральских плотвично-окуневых сообществах рыб. Лещ и плотва могут служить модельными объектами при оценке степени фенотипической пластичности популяций карповых рыб в естественной среде при их совместном обитании и возможной гибридизации. Особый интерес представляет анализ морфологического разнообразия леща и плотвы, а также их гибридов в природных водоёмах. Для решения подобных задач могут быть использованы методы геометрической морфометрии [11], поскольку они позволяют раздельно изучать варьирование размеров и формы объектов, и допускают морфогенетическую интерпретацию выявляемых различий [2; 10].

Цель исследования – изучить с помощью методов геометрической морфометрии разнообразие формы тела инвазионного леща, аборигенной плотвы и их природных гибридов, обитающих синтопно в естественных условиях эвтрофного озера, не испытывающего антропогенного влияния.

Материалы и методы

Выборки рыб произведены из оз. Шитовское (57°07'41" с. ш., 60°28'23" в. д.), которое относится к водоёмам верхнего течения р. Исеть (бассейн р. Тобол) и расположено на территории Свердловской области (Средний Урал). Это хорошо прогреваемое эвтрофное озеро с природными периодическими заморными явлениями. Площадь водоёма – 7,8 км^2, средняя глубина – 1,3 м. Дно покрыто сапропелем, местами песчаным грунтом с примесью органических остатков, многочисленны остатки древесины. Озеро является водоёмом высококормным по зообентосу и выше средней кормности по зоопланктону. В настоящее время озеро не подвержено существенному антропогенному воздействию. Рыбное население представлено 10 видами. Встречены 6 аборигенных видов (плотва, речной окунь *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, ёрш *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758), линь *Tinca tinca* (Linnaeus, 1758), золотой карась *Carassius carassius* (Linnaeus, 1758), щука *Esox lucius* Linnaeus, 1758) и 4 вида-вселенца (лещ, верховка *Leucaspius delineatus* (Heckel, 1843), ротан *Perccottus glenii* Dybowski, 1877, сазан (карп) *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758). Лещ и плотва относятся к преобладающим по численности видам в ихтиоценозе. Доля природных гибридов леща и плотвы в контрольных уловах не превышает 3–5%.

Отлов рыб проводили набором ставных жаберных сетей с ячеёй 20 мм, 25 мм, 30 мм, 35 мм, 40 мм и 50 мм длиной по 30–50 м. Возраст рыб устанавливали по чешуе. Длину рыб измеряли от начала рыла до конца чешуйного покрова. Выборки рыб представлены особями от 2+ до 4+ лет. Всего изучено 25 экз. леща, 26 экз. плотвы и 14 экз. гибридов.

Оцифрованные изображения боковых проекций тела рыб получены фотокамерой Canon EOS 450D и изучены методами геометрической морфометрии [11]. Оцифровку изображений провели с помощью пакетов программ tpsUtil и tpsDig2 [7; 8]. Для характеристики изменчивости формы расставили 32 метки (landmarks) в гомологичных точках боковой проекции тела [1]. Процедуру суперимпозиции выполнили методом генерализованного Прокрустова анализа. Прокрустовы координаты анализировали методом главных компонент. Внутригрупповое морфологическое разнообразие (morphological disparity) оценивали по значениям ординат двух главных компонент методом анализа паттерна ближайших соседних точек (nearest neighbor point pattern analysis) в пределах полигона изменчивости [5]. Вычисляли показатель R – отношение значения наблюдаемой средней дистанции между ближайшими соседними ординатами (MNND – mean nearest neighbor distance) к величине теоретически ожидаемой средней дистанции (ExpNND – expected nearest neighbor distance), полученной для полигона изменчивости при случайном

пуассоновском рассеивании. Показатель R характеризует модель распределения ординат. В случае $R < 1$ проявляется агрегированность рассеивания ординат, при $R = 1$ – случайное пуассоновское рассеивание, а при $R > 1$ выражен эффект сверхрассеивания, которое при условии достоверного отклонения R от 1 указывает на неслучайный характер возрастания морфоразнообразия. Увеличение значения MNND при анализе изменчивости формы объектов можно интерпретировать как возрастание внутригруппового морфологического разнообразия, то есть веера онтогенетических траекторий [2; 5]. В работе применяли непараметрический аналог однофакторного дисперсионного анализа – тест Краскела – Уоллиса и коэффициенты ранговой корреляции Спирмена. Расчёты провели с помощью пакетов прикладных программ TPS [7; 8] и PAST 4.05 [6].

Результаты и их обсуждение

Провели анализ главных компонент (ГК) прокрустовых координат, характеризующих изменчивость формы тела по всем выборкам. На основании значений коэффициента Джоллиффа, определяющего кумулятивный вклад в изменчивость формы объектов, установлены 5 первых ГК, которые рассмотрены в дальнейшем как значимые и интерпретируемые. Всего описано 93,23% общей дисперсии формы тела. Расчёт коэффициентов ранговой корреляции Спирмена между значениями ГК и возрастом особей в выборках выявил значимую связь для двух переменных формы ГК2 и ГК3, описывающих 8,88% общей дисперсии. Вдоль этих переменных формы проявляется морфологическая специфика гибридов с возрастом и общие для всех особей возрастные закономерности трансформации формы [1]. Установлены направления изменчивости формы тела рыб, вдоль которых обнаруживаются межгрупповые различия леща, плотвы и их гибридов. Морфологически четкая принадлежность особей к разным группам выявлена вдоль ГК1, на которую приходится большая часть общей дисперсии – 81,27% ($H = 55,64$; $df = 2$; $p < 0,001$). Наибольшие различия отмечены между лещом и плотвой, гибриды занимают промежуточное положение. На основе коэффициентов ранговой корреляции Спирмена получена оценка связи ГК с групповой принадлежностью рыб к родительским видам и гибридам, которая была задана в виде рангов 1 и 2 (ранг 1 – гибриды и ранг 2 – лещ и плотва). С фактором «групповой принадлежности» установлены значимые корреляционные связи для изменчивости вдоль ГК4 ($r_s = 0,28$; $p = 0,023$), объясняющей 1,82% общей дисперсии, и ГК5 ($r_s = 0,33$; $p = 0,008$), описывающей 1,26% дисперсии. Определено значимое влияние этого фактора только на изменчивость вдоль ГК5 ($H = 6,95$; $df = 2$; $p = 0,031$).

Для оценки внутригруппового морфоразнообразия в каждой группе рыб были построены полигоны изменчивости сравниваемых выборок в плоскости главных компонент ГК1 и ГК5 (рис. 1А), на которые приходится 82,53% дисперсии формы тела и которые значимо связаны с различиями между гибридами и родительскими видами.

С помощью процедуры случайного разрежения состава проб были сформированы одинаковые по числу наблюдений объемы выборок. В результате сравнения величин средних дистанций между ближайшими соседними ординатами (MNND) для выборок рыб между родительскими видами и гибридами на основе теста Краскела-Уоллиса были выявлены значимые межгрупповые различия ($H = 10,60$; $df = 2$; $p = 0,005$) (рис. 1Б).

Относительно высокие уровни морфоразнообразия (MNND) проявились в выборке гибридов (табл. 1). В выборках леща и плотвы из оз. Шитовское величины MNND оказались близкими и имели низкие значения, рассеивание ординат носит случайный характер. В выборке гибридов наблюдается значимый эффект сверхрассеивания ординат в морфопространстве ($R > 1$; $p < 0,001$).

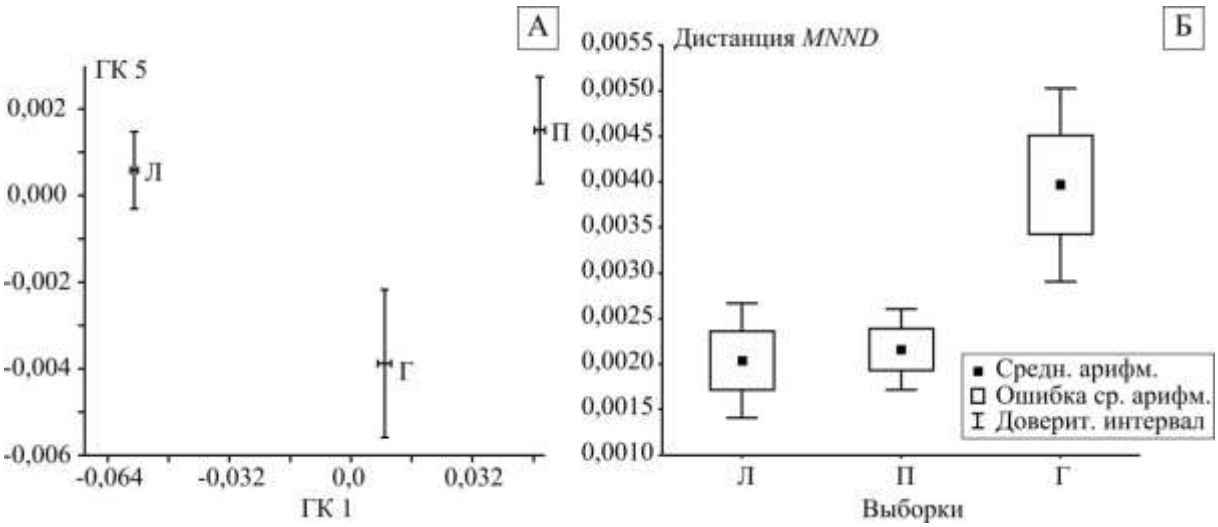


Рис. 1. Ординация центроидов выборок леща (Л), плотвы (П) и их гибридов (Г) из оз. Шитовское с учетом стандартных ошибок в плоскости, образованной главными компонентами ГК1 и ГК5, характеризующими форму тела рыб и коррелирующими с морфологическими различиями между родительскими видами и гибридами (А); а также сравнение средних дистанций между ближайшими соседними ординатами (MNND), полученных внутри полигонов изменчивости трех выборок рыб (Б).

Таблица 1. Оценка модели рассеивания ординат в полигонах изменчивости формы тела вдоль ГК1 и ГК5 для выборок леща, плотвы и их природных гибридов на основе метода средних дистанций между ближайшими соседними ординатами (MNND).

Выборки	Средняя дистанция MNND	Ожидаемая дистанция ExpNND	R	Z	Уровень значимости (p)
Лещ	0,0020	0,0017	1,57	1,21	0,117
Плотва	0,0022	0,0020	0,79	1,11	0,430
Гибрид	0,0040	0,0025	3,57	1,57	< 0,001

Предполагалось, что у леща, попавшего в новые условия обитания за пределами естественного видового ареала, должна существенно усилиться случайная компонента изменчивости, то есть должно наблюдаться сверхрассеивание ординат, но этого не обнаружено. Несмотря на то, что лещ является видом-вселенцем в сообществе рыб озера, уровень внутригруппового морфологического разнообразия его выборки сопоставим с уровнем разнообразия в выборке местной плотвы. В ихтиоценозе озера лещ является одним из доминирующих видов, что свидетельствует о комфортных для него условиях обитания. Но следует заметить, что лещ в оз. Шитовское совместно обитает в основном с теми же видами рыб, что и в водоёмах нативного ареала (плотва, речной окунь, щука и др.). В ходе интродукции леща и трансформации аборигенного сообщества у обоих родительских видов в совместно обитающих популяциях озера реализуются сходные уровни внутригруппового разнообразия формы тела, что, вероятно, определяется исторически давно и сходным образом сформированными морфогенетическими реакциями рыб этих видов в ответ на длительное обитание их популяций в условиях эвтрофного водоёма.

Повышенный показатель морфологического разнообразия и значимая оценка эффекта сверхрассеивания ординат для полигонов изменчивости выборки природных гибридов могут косвенно указывать на недостаточную регуляцию развития рыб [2], когда проявляется более широкий спектр онтогенетических траекторий. Экологическая среда эвтрофного озера, которая для обоих родительских видов, судя по уровню

внутригруппового морфологического разнообразия и степени численного доминирования в ихтиологическом сообществе, в основном является благоприятной, может выступать для гибридов стрессирующим фактором и трансформировать их развитие. Кроме этого, группа гибридов может включать разных по происхождению особей, образовавшихся при различных вариантах скрещиваний родительских видов, возвратных скрещиваниях. Не исключено, что само гибридное происхождение особей создает «стрессирующую среду» для этих рыб из озера, влияющую на перестройку их онтогенеза [3].

Заключение

В итоге морфометрического исследования выявлены сходные уровни внутригруппового морфологического разнообразия, оцененного по переменным формы тела, в совместно обитающих на протяжении 30–35 поколений популяциях местной плотвы и инвазионного леща. Это может свидетельствовать об адаптации вселенца к условиям эвтрофного озера с естественным периодическим дефицитом растворенного в воде кислорода и аборигенному многовидовому сообществу рыб за пределами своего родного ареала. Среда эвтрофного водоёма, не испытывающая прямого антропогенного влияния, оказывает сходное воздействие на уровень стресса развития особей инвазионного леща и местной плотвы (низкие значения MNND). В отличие от родительских видов в группе гибридов леща и плотвы наблюдается повышенное внутригрупповое морфологическое разнообразие и значимый эффект сверхрассеивания ординат (высокое значение MNND и $R > 1$, $p < 0{,}001$), что может косвенно указывать на изменение онтогенеза этих особей в озере, связанное с формированием широкого спектра онтогенетических траекторий.

Финансирование. *Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН Институт экологии растений и животных УрО РАН (№ 122021000091-2).*

Список литературы

1. *Баранов, В.Ю.* Изучение изменчивости формы тела природных гибридов леща и плотвы методами геометрической морфометрии / В.Ю. Баранов // Водные экосистемы Сибири и перспективы их использования: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. – Томск, 2011. – С.25–27.

2. *Васильев, А.Г.* Геометрическая морфометрия: от теории к практике / А.Г. Васильев, И.А. Васильева, А.О. Шкурихин. – М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2018. – 471 с.

3. *Столбунова, В.В.* Межгеномный конфликт при отдаленной гибридизации леща (*Abramis brama* L.) и плотвы (*Rutilus rutilus* L.) / В.В. Столбунова // Усп. совр. биол. – 2017. – Т. 137, № 4. – С. 362–374. DOI: 10.7868/S0042132417040044

4. *Яковлев, В.Н.* Гаметическая сегрегация геномов у межродовых гибридов карповых рыб / В.Н. Яковлев, Ю.В. Слынько // Докл. Акад. Наук. – 1998. – Т. 358, № 5. – С. 716–718.

5. *Hammer, Ø.* New methods for the statistical analysis of point alignments / Ø. Hammer // Comput. Geosci. – 2009. – V. 35. – P. 659–666. DOI:10.1016/j.cageo.2008.03.012

6. *Hammer, Ø.* PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis / Ø. Hammer, D.A.T. Harper, P.D. Ryan // Palaeontol. Electron. – 2001. – V. 4. No. 1. – p. 1–9. – URL: [http://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.html] (дата обращения: 09.07.2020).

7. *Rohlf, F.J.* TpsDig2, digitize landmarks and outlines, version 2.17 // Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. – 2013. (program). – URL: http://life.bio.sunysb.edu/morph/ (дата обращения: 05.11.2016).

8. *Rohlf, F.J.* TpsUtil, file utility program, version 1.60 // Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook. – 2013. (program). – URL: http://life.bio.sunysb.edu/morph/ (дата обращения: 12.02.2017).

9. *Sakai, A.K.* The population biology of invasive species / A.K. Sakai, F.W. Allendorf, J.S. Holt, [et al.] // Annual Rev. Ecol. Syst. – 2001. – V. 32. – P. 305–332. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114037

10. *Sheets, H.D.* Studying ontogenetic trajectories using resampling methods and landmark data / H.D. Sheets, M.L. Zelditch // Hystrix Ital. J. Mammal. – 2013. – V. 24. No. 1. – P. 67–73. DOI: 10.4404/hystrix-24.1-6332

11. *Zelditch, M.L.* Geometric morphometrics for biologists: a primer / M.L. Zelditch, D.L. Swiderski, H.D. Sheets, W.L. Fink. – N.Y.: Elsevier Acad. Press, 2004. – 437 p.

УДК 574.583+556.55(571.150)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЧКА ARTEMIA LEACH 1819 В ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА КУЛУНДИНСКОЕ В УСЛОВИЯХ АРИДНОСТИ

Л.В. Веснина, Ю.А. Веснин, М.В. Лассый
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия, e-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Аннотация. Гипергалинные озера Алтайского края расположены в аридной и полуаридной зонах Западно-Сибирской низменности. Относятся к континентальным водам, занимают бессточные котловины в осадочных породах. Уровневый режим большинства гипергалинных озер междуречья непостоянен, подвержен значительным колебаниям, вплоть до полного высыхания мелких водоемов и заметного сокращения площадей и глубин в больших. При снижении водности территории вступлении водоемов в стадию регрессии олигогалинные озера становятся мезогалинными, которые, в свою очередь, переходят в группу гипергалинных вплоть до минерализованных (самосадочных). При улучшении условий водности происходит обводнение озер, наступает стадия трансгрессии уровневого режима и обратный процесс опреснения озер. Поэтому соленость рапы находятся в интегральной зависимости от условий среды. Галофильный рачок Artemia развивается в большинстве гипергалинных озер в монокультуре из-за критической для большинства гидробионтов минерализации воды. Однако, в отдельные годы в составе зоопланктона отмечаются солоноватоводные виды, представители коловраток, веслоногих и ветвистоусых ракообразных. Artemia является важным компонентом гипергалинных водоемов, имеющих не только экологическое значение, но и хозяйственное. Науплиусы и взрослые особи рачка являются ценным кормом для многих видов рыб и ракообразных, особенно велика их роль на ранних стадиях развития выращиваемых видов, в виде так называемых стартовых кормов.

Ключевые слова: артемия; озеро Кулундинское; зоопланктон; фитопланктон; пластические признаки; численность рачка; численность цист; аридные условия.

CURRENT STATE OF ARTEMIA LEACH 1819 CRUSTACEAN IN HYPERSALINE LAKES OF THE ALTAI TERRITORY BY THE EXAMPLE OF LAKE KULUNDINSKOYE IN ARID CONDITIONS

L.V. Vesnina, Y.A. Vesnin, M.V. Lassyi
Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, e-mail: artemia.vesnina@mail.ru

Summary. Hypersaline lakes of the Altai Territory are located in the arid and semi-arid zones of the West Siberian Lowland. They belong to continental waters and occupy drainless basins in sedimentary rocks. The level regime of most hypersaline lakes in the

interfluve is unstable, subject to significant fluctuations, up to the complete drying out of small reservoirs and a noticeable reduction in area and depth in large ones. With a decrease in the water content of the territory and the entry of reservoirs into the stage of regression, oligosaline lakes become mesohaline, which, in turn, move into the group of hypersaline up to mineralized (self-sedimented). As water conditions improve, the lakes are flooded, the stage of transgression of the level regime begins, and the reverse process of lake desalination begins. Therefore, brine salinity is integrally dependent on environmental conditions. The halophilic crustacean Artemia develops in most hypersaline lakes in a monoculture due to the critical water mineralization for most hydrobionts. However, in some years, the composition of zooplankton includes brackish-water species, representatives of rotifers, copepods and cladocerans. Artemia is an important component of hypersaline reservoirs, which have not only ecological significance, but also economic significance. Nauplii and adult crustaceans are valuable food for many species of fish and crustaceans; their role is especially important in the early stages of development of farmed species, in the form of so-called starter feed.

Keywords: artemia; Kulundinskoe lake; zooplankton; phytoplankton; plastic characters; number of crustaceans; number of cysts; arid conditions.

Artemia Leach 1819 – раздельнополое животное с выраженным половым диморфизмом. Самки, как правило, крупнее самцов. Диморфизм сохраняется у обоеполых и партеногенетических популяций. Структура гениталий обоих полов является таксономической характеристикой членистоногих и может лежать в основе видового определения артемии [4].

Среди существующих популяций жаброногого рачка одни размножаются половым путем, другие – партеногенетически. Среди 470 описанных популяций артемии 36% размножаются облигатным партеногенезом [18]. В водоемах юга Западной Сибири большинство популяций жаброногого рачка относятся к партеногенетической расе, исключения составляют сообщества в некоторых озерах Алтайского края – Танатар, Соленое, Петуховское, Малое Шкло с бисексуальной расой [16]. Способ размножения оказывает разностороннее воздействие на количественные параметры жизненного цикла рачка, а также на соотношение полов и разных типов кладок [13]. Размножение может происходить путем живорождения и откладыванием яиц. При этом выделяют два типа яиц: тонкоскорлуповые, или летние, и толстоскорлуповые диапаузирующие (цисты) [1; 7; 17]. Из тонкоскорлуповых выклев науплиусов происходит после их вымета. Толстоскорлуповые яйца (цисты) содержат эмбрионы на стадии гаструлы, покрытые толстой оболочкой, и находящиеся в состоянии диапаузы [2]. Оболочка цист состоит из трех хорошо различимых слоев: двух слоев хитинообразного хориона и внутренней эмбриональной кутикулы. Общая масса оболочки диапаузирующих яиц составляет около 30% общей массы яиц [14].

Территория Алтайского края богата озерами. Большинство из них – пресные, и только около 10% имеют солоноватую и соленую среду. Несмотря на обилие озер в крае, их ресурсы используются часто нерационально, с нарушением природоохранных норм [3], которым угрожает загрязнение хозяйственно-бытовыми стоками, стоками с полей, животноводческих ферм, отгонов и др.

Цели исследования: дать характеристику зоопланктона, фитопланктона и макрофитов озера Кулундинское; выявить влияние факторов среды на динамику численности рачка Artemia Leach 1819; описать биологию рачка артемии по пластическим признакам в озере Кулундинское.

Материалы и методы

Объектом исследования послужил жаброногий рачок Artemia Leach, 1819, его структура разновозрастных стадий; численность; морфологические особенности

пластических признаков и факторы, влияющие на популяцию рачка в озере Кулундинское.

Исследования на озере Кулундинское проводили в период с апреля по октябрь (ежемесячно) 2002 г. по настоящее время, согласно программе мониторинга гипергалинных водоемов. На каждой станции ежемесячно измерялась температура и минерализация воды, температура воздуха. На тех же станциях ежемесячно отбирались пробы зоопланктона, образцы цист артемии и пробы воды на гидрохимический состав. Отбор, фиксацию и обработку гидробиологических проб, измерения факторов среды и визуальные наблюдения за распределением рачка артемии по акватории озера проводились по стандартным методикам на постоянно выделенных станциях наблюдения.

Для морфометрических исследований рачка использовали живой и фиксированный материал. Анализ проводили по 9 пластическим показателям: длина тела (tl), длина цефалоторакса (cl), длина абдомена (al), ширина абдомена (aw), длина овисака (lw), ширина овисака (ow), ширина головы (hw), длина правой фуркальной ветви (fl-r) и длина левой фуркальной ветви (fl-l), а так же их сравнение друг с другом.

Результаты и обсуждение

Известно о существовании более 500 мест обитания артемии в морских и континентальных водоемах мира. В Сибирском регионе естественный ареал артемии приурочен к аридной и частично полуаридной климатическим зонам равнины. Ареал ограничен с севера линией Барабинск – Тюкалинск – Ишим – Шадринск – Челябинск, с юга примыкает к казахстанскому ареалу зоны полупустыни, и находится между 51 – 56° с.ш. и 61 – 82° в.д.

Общая акватория артемиевых озер составляет 1570 км^2. Крупных по площади (более 10 км^2) – 19 озер, средних (1 – 10 км^2) – 52, малых (менее 1 км^2) – более 12. Глубоководных (более 4 м) – 1 озеро, со средней глубиной (2 – 3,5 м) – 6, остальные – мелководные (глубина менее 2 м).

Цисты артемии используются в аквакультуре, аквариумистике, фармакологии, косметологии, в качестве корма для птиц и животных и др. 85% от всех используемых цист идет на выращивание креветок. Китай использует около 4-5 тыс. т, это 50% от мирового производства цист без учета собственных ресурсов. Для сравнения, Россия использует не более 200 т.

Основной путь использования артемии в аквакультуре лежит на кормлении: морской рыбы (европейский сибас, дорада (морской карась), сом, зубатка), пресноводной рыбы (осетровые, сиговые, клариевый сом), морской креветки (белоногая креветка, черная тигровая креветка), пресноводной креветки (макробрахиум (малазийская)), крабов (китайский мохнаторукий краб, краб-плавунец, грязевый). Для выкармливания 1 млн. личинок креветок нужно 3-6 кг цист.

В природе распространение и развитие артемии зависит от солености. Граница встречаемости рачков 30 – 400 г/л, популяция артемии нормально развивается при 70 - 230 г/л, оптимальная соленость для наращивания биомассы рачков 70 – 150 г/л, оптимальная соленость для продукции цист 110 – 200 г/л, рачки встречаются единично при 30 – 50 и 250 – 400 г/л (рис. 1).

Искусственно создавать соленые водоемы (пруды) путем добавления в пресную воду солей – невыгодно. Для примера, чтобы повысить соленость пресного озера площадью 100 га и глубиной 1 м до приемлемой для продукции цист артемии (110 г/л), нужно внести 110 тыс. т соли.

Такие водоемы можно создавать при выпаривании морской воды, при этом получают соль и небольшую продукцию рачков артемии.

Сложности прогноза:

- короткоцикловый организм рачка Artemia Leach, 1819 (3 генерации в сезон, зимует в виде цист);
- неустойчивость климата (наличие сухих и влажных лет);
- мелководность водоема (глубина, в среднем, около 1 м);
- влияние солености на рост популяции рачков и производство цист;
- скоротечность промысла (июль-октябрь);
- гибель береговых выбросов цист в течение 2-х недель в условиях лета;
- легкая доступность цист для нелегального промысла.

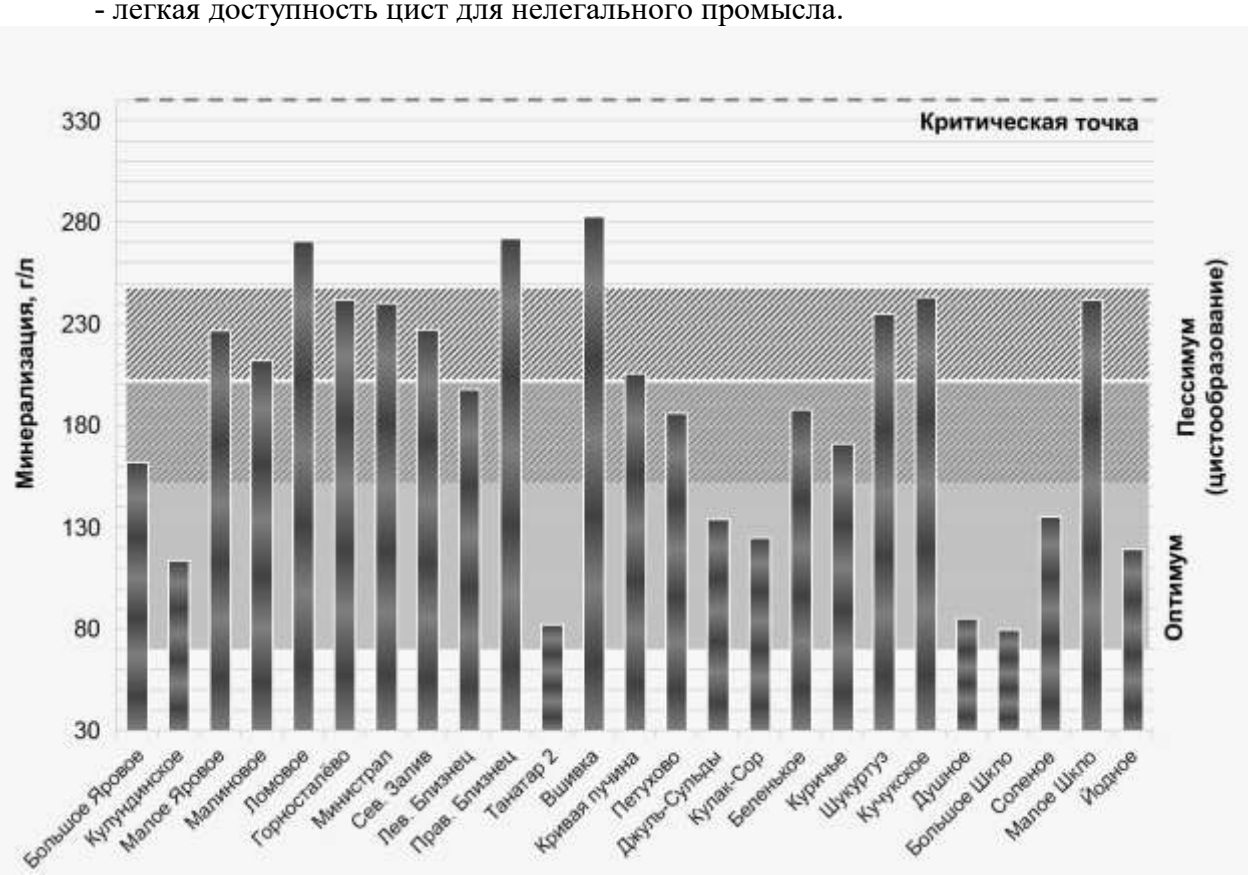


Рис. 1. Границы солености, определяющие жизнедеятельность Artemia Leach, 1819 в гипергалинных водоемах Алтайского края.

Озеро Кулундинское располагается в Благовещенском, Суетском районах и городе Славгороде Алтайского края. По физико-географическому районированию озеро относится к озерам Кулундинской равнины. Площадь акватории колеблется от 720,0 до 728,0 км^2 в зависимости от степени регрессии уровня воды, средняя глубина – 2,6 м, максимальная глубина – 3,5 м, показатель «открытости» озера составляет 78,7; озерная котловина характеризуется как округлая, немного вытянутая, берега пологие, местами с солонцово-солончаковыми комплексами, приболоченные. В озеро Кулундинское впадают р. Кулунда и р. Суетка.

Известный эколог Ю. Одум [15] включает в большую тройку экологически важных абиотических факторов температуру, минерализацию воды и свет. Однако влияние света (фотопериода) на ракообразных находится на стадии изучения. Например, доказано влияние фотопериода на выход из диапаузы покоящихся яиц артемии [19; 20], а также наличие фототаксиса у науплиусов и взрослых. И все же в естественных условиях гипергалинных озер главными факторами становятся температура рапы, общая минерализация воды и производная гидрологических условий на водосборе и в водоемах – уровневый режим водоема, лимитирующий размеры «жилой зоны» рачков и их диапаузирующих яиц.

С возрастом устойчивость артемии к воздействию многих негативных факторов обычно увеличивается. Например, первые признаки угнетения науплиусов от углекислого газа наблюдаются при 127,0, ювенильных рачков – при 80,0, половозрелых – при 57,0 мг/л. Летальная концентрация сероводорода для науплиусов и ювенильных особей составляет 76,9, для половозрелых – 109,0 мг/л.

Гипергалинные озера Западной Сибири располагаются в обширных внутриматериковых понижениях, каждое из которых становится солесборным бассейном. Крупные гипергалинные озера находятся в аридной зоне с превышением испарения над осадками, характеризуются засушливостью, жарким сухим летом, иногда с аномалиями, и частыми ветрами, особенно весной и осенью.

Основное влияние на пространственную неоднородность и динамику структурных и функциональных характеристик популяции рачка артемии оказывают сгонно-нагонные ветра. Ветровое воздействие приводит к полному вертикальному и горизонтальному перемешиванию и перемещению водных масс с водными биоресурсами. Особое значение сгонно-нагонные ветра приобретают при формировании промысловых скоплений цист артемии. Находясь во взвешенном состоянии практически по всей толще воды, цисты и скорлупа под действием нагонного течения выбрасываются на прилегающую прибрежную полосу и аккумулируются на ней в границах рыбопромыслового участка. При усилении силы ветра скопления цист и скорлупы вновь с прилегающей прибрежной полосы смываются в воду рыбопромыслового участка. Наиболее благоприятной для формирования промысловых скоплений в воде скорость ветра находится в диапазоне от 5 до 10 м/с. [5].

Биотические факторы формирования сырьевой базы рачка определяются, прежде всего, видовым составом фитопланктона, его продуктивностью в условиях оз. Кулундинское и доступностью его фитомассы для рачков. Кроме того, большую роль играет прибрежно-водная растительность [8].

Макрофиты. В связи с влиянием опресняющего фактора на биоту оз. Кулундинское наблюдается интенсивное развитие высшей водной растительности. Состав, степень развития и размещение макрофитов обуславливается неоднородностью экологических условий водоема и подчиняется, в первую очередь, влиянию биостока рек Кулунда и Суетка.

Преобладающее значение среди высшей водной растительности имеют сообщества воздушно-водных растений (гелофиты). Среди гелофитов ведущая роль принадлежит тростнику обыкновенному (Phragmites communis (Cav.)) образующему две ассоциации с камышом (Scirpus tabemaemontani C.C. Gmelin) и клубнекамышом (Bolboschoenus planiculmis (Fr. Schmdt) Egor). Эдификаторная значимость различных видов не равнозначна, доминантам в озере является тростник, образующий нередко чистые тростниковые ассоциации.

По условиям местообитания и по характеру распределения макрофитов в озере выделяются два района - открытые прибрежья, подпитывающие родниковыми водами и небольшие заливы. Ширина зарослей открытых берегов составляет: 5-7 м, в некоторых местах до 15-20 м. Это преимущественно чистые тростниковые ассоциации или же в сообществе с надводным разнотравьем. В тростники вклиниваются, также, куртины различных размеров, образованные камышом, рогозом, осокой (район Охотничьего домика). Влияние этих видов на водоемы и процессы, происходящие в них, определяются их экологическими особенностями. Так, тростник является хорошим абсорбентом биогенных элементов. Накапливание их в корневищах водных растений представляет собой важный процесс не только для формирования и роста стеблевых, корневищных и корневых почек, ио и как процесс, способствующий изъятию биогенов из водоема и аккумуляции их в подземных органах. Таким образом, аккумуляция

биогенов в корневище у тростника не только влияет на качество воды в озере, но и играет немаловажную роль, как фактор, способствующий снижению вторичного биологического загрязнения водоемов.

Фитопланктон. Биогидроценозы минерализованных озер очень своеобразны. Они интересны для исследователей в плане приспособляемости живых организмов, в том числе и водорослей, к условиям повышенной солености.

За период с 2002 г. в исследованных фитопланктонных пробах были обнаружены водоросли из 7 отделов. Если в 2001 и 2006 гг. в общем списке водорослей планктона преобладали сине-зеленые водоросли, то в 2002 - 2005 гг. и с 2017 г. по настоящее время, более разнообразны в фитопланктоне озера отмечены зеленые водоросли. По числу видов в таксономической структуре фитопланктона в 2007 г. наибольшего разнообразия достигали зеленые и сине- зеленые водоросли. Остальные отделы были представлены одним видом или неопределенным до вида представителем.

В 2008 г. в исследованных планктонных пробах было выявлено всего 13 видов водорослей из 4 отделов, в 2009 г. – 25 видов из 6 отделов. Наиболее разнообразным состав фитопланктона был в апреле (2009 г.) или сентябре (2008 г.), в то время как в июле можно было встретить только два вида. Такое наблюдали и в предыдущие годы, так как июль - самый жаркий месяц и, следовательно, самый маловодный, что находит отражение в повышении общей минерализации воды в озере и снижению видового разнообразия. В исследованиях 2010-2011 гг. было выявлено 26 и 18 видов водорослей соответственно из 5 отделов. В 2012 г. был выявлен 21 вид водорослей из 4 отделов. Число видов в 2013 г. было несколько ниже, но не выходило за присущие этому водоему пределы по многолетним данным. В целом, можно отметить уменьшение количества видов водорослей за последние восемь лет [8]. Корреляция между численностью фитопланктона (млн.кл./л) и соленостью воды (г/л) характеризуется обратно-пропорциональной зависимостью:

$y = -0{,}0208x + 2{,}0443$ с коэффициентом, равным -0,326 (при P = 0,01).

Так же выявлена прямо-пропорциональная зависимость между численностью фитопланктона (млн.кл./л) и количества пометов (кладок):

$y = 0{,}0565x + 2{,}4725$ с коэффициентом, равным 0,525 (при P = 0,01).

По данным Л.В. Весниной [6], зарастаемость акватории озера Кулундииское гидрофитами составляет 30%, гелофитами - 4%, с фитомассой 0,2 и 1,0 кг/м^2 соответственно. Продуктивность макрофитов составляет 87,4 т-103. Биомасса макрофитов, образуя бордюрный тип зарастания, играет отрицательную роль для доступности промышленного вылова (добычи) артемии (на стадии цист).

Зоопланктон. Из-за критической минерализации воды для большинства гидробионтов, галофильный рачок артемия (Artemia Leach, 1819) развивается в большинстве гипергалинных озер в монокультуре. Однако в отдельные годы в составе зоопланктона отмечались солоноватоводные виды, представители коловраток, веслоногих и ветвистоусых ракообразных [10; 11; 21].

Впервые веслоногие ракообразные в оз. Кулундииское были отмечены в 2002 г., их численность была невысокой (0,04-0,08 тыс. экз/м^3). В последующие годы (2003-2006 гг.) численность представителей веслоногих колебалась от 0,25 (2005 г.) до 32,1 (2004 г.) тыс. экз/м^3. На отдельных станциях численность веслоногих достигала своего максимума, составляя в 2005 г. - 466,0 тыс. экз/м^3 (16.08). Из веслоногих ракообразных доминировал Cletocamptus retrogressus Shmankevich [4; 12].

Корреляционная матрица численности рачков и цист артемии опубликованная в монографии Л. В. Весниной [4], показывает достоверную положительную корреляцию между численностью ранних стадий развития (науплиальная, ювенильная) и количественными (численность и биомасса) показателями фитопланктона (r = 0,25 – 0,42). Температура воды оказывает прямо пропорциональное влияние на численность

предвзрослых и половозрелых особей (r = 0,30). Прямое влияние с достоверным коэффициентом корреляции оказывает минерализация воды на численность самок (r = 0,31), и обратное - на численность рачка науплиальных стадий (r = -0,27) и количественные показатели фитопланктона (r = -0,25 – -0,28).

На динамику численности и биомассы рачка непосредственное влияние оказывают температура и минерализация воды [22; 23]. Корреляция между температурой воды за вегетационный период и численностью артемии выражается прямо-пропорциональной зависимостью [4]:

y = 5,60 x ± 6,25 с коэффициентом, равным 0,678 (при P = 0,01).

Корреляция между общей минерализацией воды и средней плодовитостью рачка характеризуется обратно-пропорциональной зависимостью:

y = -0,53 x ± 88.96 с коэффициентом, равным -0,841 (P = 0,01).

Зоопланктон оз. Кулундинское с 2017 г. по настоящее время представлен 9 видами, из которых 6 коловраток (Rotifera), 1 гидробионт - из кладоцер (Cladocera) и 2 вида - из копепод (Copepoda). Все встреченные виды относятся либо к галобионтам (Artemia sp., Cletocamptus retrogressus, Brachionus plicatilis (O.F.Muller), либо к видам с широкой экологической валентностью и встречаются как в пресных, так и в соленых водоемах, в том числе и в озере Кулундинское – Asplanchna priodonta Gosse, Keratella cochlearis Gosse, K. quadrata (O.F.Muller), Hexarthra oxyuris (Zernov), Polyarthra dolichoptera Idelson, Moina macrocopa (Straus).

Исследования показали, что за весь период с июня по октябрь высокая плотность в зоопланктоне принадлежит представителям солоноватоводной фауны 86,02 - 93,78 %. В то время как рачок артемии и все его стадии развития определенно занимают лидирующее положение по биомассе всей биоты экосистемы. Именно в этом диапазоне солености (45,0 - 97,0 г/л) в сообществе зоопланктона происходят ключевые перестройки, связанные со сменой видов, обладающих различными способностями контролировать обилие по численности и биомассе видового состава зоопланктона. Характерный для гипергалинных озер моновидовой артемиевый зоопланктон становится доминантом по биомассе зоопланктона.

Численность рачков артемии с июня по октябрь составила 63,00±0,51 тыс. экз./м3, биомасса - 55,77±0,53 г/м3 Динамика изменения численности артемии (на стадии цист) варьирует от 23,06±1,83(или 16,9 %) в июне, до 131,41 ±13,72 тыс. экз./м3 в сентябре (или 35,7%). Многолетний мониторинг гипергалинных водоемов Западной Сибири показал, что наиболее продуктивными водоемами являются озера с соленостью воды в диапазоне от 70 до 230 г/л. При солености воды в озере менее 100 г/л преобладает продукция рачков артемии, а при солености свыше 140 г/л преобладает продукция цист. Из этого следует, что в озере Кулундинское соленость рапы, со значениями от 45,0 (апрель) до 97,0 г/л (октябрь) была не традиционно оптимальной для развития продукции рачков артемии и артемии (на стадии цист). В течение 2017 – 2022 гг. гидрофизический и гидрохимический режим озера также был подвержен значительным изменениям, что отразилось на динамике зоопланктонного сообщества и возрастной структуре популяции рачка артемии.

Согласно классификации биолимнологического районирования, экосистема оз. Кулундинское подвержена циклическим сукцессиям и чередованием сухих и влажных периодов, что приводит к значительным колебаниям уровня воды и ее площади, оказывая воздействия на гидрофизические и гидрохимические процессы. В 2022 г. удалось зафиксировать каскадный эффект и реперную точку основного показателя минерализации воды для восстановления структуры трофического звена с доминированием жаброного рачка артемии и всех его стадий развития. Таким образом, соленость воды в оз. Кулундинское структурировала трофическую сеть – с ее ростом уменьшилось количество солоноватоводной фауны от 15 до 30% по сравнению с

прошлым годом и произошло закономерное увеличение биомассы рачка артемии и численности ее цист.

Морфометрический анализ рачка Artemia Leach 1819

Длина тела (tl)

В трансгрессивную фазу (2017 – 2022 гг.) по длине тела (tl) у самок выявлено двухмодальное распределение, в регрессивную – распределение одномодальное, однако присутствует правосторонняя асимметрия (коэффициент асимметрии (As) является достоверным и равен 0,53). В регрессивную фазу наблюдалось общее укорочение вариационного ряда: размах между минимальным и максимальным значением в засушливую фазу составлял – 5,7 мм, в полноводную – 7,5. Сокращение интервала в регрессивную фазу произошло, в большей мере, за счёт укорочения «слева» (отсутствие особей, имеющих наименьшую длину тела). В трансгрессивную фазу вариационный ряд самок условно делился на 10 классов с шагом 0,8 мм (в регрессивную – на 9, с шагом 0,7). 22% всех исследованных в трансгрессивную фазу особей принадлежали к модальному классу 10,3-11,1, наиболее часто встречаемое значение (мода) данного класса составляла 10,6 мм (это Mo1). 21,7% самок трансгрессивной фазы принадлежали ко второму модальному классу: 8,7-9,5 (Mo2 = 9,2 мм); середина вариационного ряда (медиана, Me) пришлась на значение 10,0 мм (что совпадает с математическим ожиданием), таким и большим значением длины тела обладали 52,7% исследованных самок. Открытым остаётся вопрос: поддерживалась ли такая картина на всём протяжении трансгрессивной фазы или в отдельные периоды происходила перегруппировка. В регрессивную фазу (2006 – 2016 гг.) к модальному классу 9,8-10,5 (Mo=Me= 10,2 мм) было приурочено 27,6% исследованных особей; длину тела равную или больше модальной имели 55,9% особей (для сравнения: в трансгрессивную длиной тела 10,2 мм и более имели только 46,0% самок) (рис. 2).

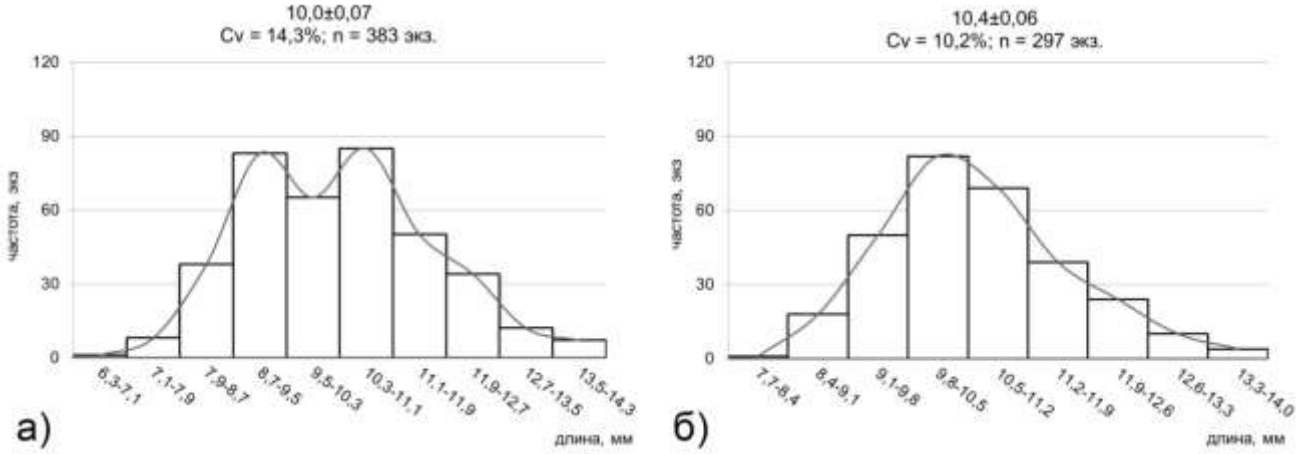


Рис. 2. Длина тела самок Artemia Leach, 1819 в озере Кулундинское: а) в период 2019-2022 гг., h = 0,8; б) в период 2015-2018 гг., h = 0,7.

Длина цефалоторакса (cl)

По длине цефалоторакса (cl) среди самок из оз. Кулундинское в трансгрессивную фазу наблюдается распределение, близкое к нормальному, однако присутствует пониженная скорость падения частот справа от средней и тенденция к правосторонней асимметрии. Вариационный ряд условно поделен на 10 классов с шириной шага 0,4 (размах – 4,0 мм). Модальным являлось значение 4,2 мм (лишь 28,7% половозрелых самок имели меньшую длину головогруди). В пределах модального класса (4,1-4,5) и двух, следующих за ним справа (4,5-4,9 и 4,9-5,3) находились 74,4% из всех исследованных в трансгрессию самок. В регрессивную фазу водности вариационный ряд был условно поделён на 11 классов (ширина шага 0,4 мм, интервал –

4,1). Мода 4,3 мм (меньшей длиной головогруди обладали лишь 27,6% самок, что обусловило правостороннюю асимметрию графика). В пределах модального и двух следующих справа за ним классов находилось 72,1% исследованных самок. Скорость снижения частот в правой стороне графика равномерна. Длину головогруди от 6,0 мм и более имели 4,0% самок (для сравнения: в трансгрессивную фазу – всего 0,8%).

Длина абдомена (al)

В обе фазы водности длина абдомена (al) имела распределение, близкое к нормальному, вариационный ряд условно делился на 11 классов с шагом 0,5 мм. В трансгрессию размах между крайними вариантами составлял 5,2 мм, в регрессию – 5,0 (сокращение размаха произошло исключительно за счёт элиминации крайних левых вариант, при этом вариационный ряд несколько «прирос» справа). Модальной величиной для трансгрессивной фазы являлось значение 6,0 мм (меньшей длиной абдомена обладали 65,8% самок, большей – только 28,7 – этим обусловлена тенденция к левосторонней асимметрии).

В регрессивную фазу значения располагались более симметрично относительно моды (которая составляла 5,8 мм), причём правее значения 6,0 мм в регрессию располагалось 32,0% вариант. К двум наиболее многочисленным классам трансгрессивной фазы (5,8-6,3 и 5,3-5,8 мм) принадлежали 43,3% всех исследованных самок, два наиболее многочисленных класса регрессивной фазы (5,5-6,0 и 6,0-6,5 мм) содержали в себе 48,1% самок.

Ширина абдомена (aw)

В трансгрессивную фазу водности по признаку ширины абдомена (aw) самки артемии из оз. Кулундинское были распределены мультимодально. В выборке наблюдалось 4 моды: две наиболее многочисленные, и две имеющие второстепенное значение. Mo1 = 0,60 мм (29,5% особей в модальном классе 0,58-0,62 мм); Mo2 = 0,50 мм (26,4% особей в классе 0,50-0,54 мм); Mo3 = 0,70 мм (7,3% особей в соответствующем классе: 0,70-0,74 мм); Mo4 = 0,40 мм (5,0% особей в её классе: 0,38-0,42). Особняком стоял «средний класс» (0,54-0,58 мм), мода которого (0,55 мм) одновременно является и медианой (Me) для всего вариационного ряда. Левей медианы лежало 37,9, правей – 46,5% всех исследованных особей. Таким образом, 62,1% самок в трансгрессивную фазу имели ширину абдомена от 0,55 мм и выше. В регрессивную фазу тип распределения по данному признаку кардинально отличался – это было одномодальное островершинное распределение, мода которого (Mo = 0,60 мм) совпадает с медианой (Me = 0,60 мм) и практически совпадает с математическим ожиданием ($\bar{x}$ = 0,58 мм). Однако от нормального распределения данную выборку отличает выраженный эксцесс (Ex = 1,25) и крайняя малочисленность двух последних классов (как в левой, так и в правой стороне графика). По сравнению с трансгрессивной фазой, в регрессию увеличился размах вариационного ряда (в большей степени ряд прирос справа), однако, как говорилось выше, добавившиеся классы были крайне малочисленны. К модальному класс (0,58-0,63 мм) относились 50,1% самок, а если рассматривать модальный класс с двумя боковыми, то можно говорить о том, что эти три класса содержали в себе абсолютное большинство – 83,2% вариант; правый «хвост» графика содержал в себе 11,8% вариант, левый – 5,1% (в чём некоторая тенденция к правосторонней асимметрии). В регрессивную фазу 58,9% самок имели ширину абдомена равную или больше модальной (0,60 мм), в трансгрессию шириной абдомена от 0,60 и выше обладали 46,2% особей.

Ширина овисака (ow)

В обе фазы водности распределение самок по ширине овисака было близким к нормальному. В трансгрессию вариационный ряд был значительно длинней (размах 3,14 мм) и условно делился на 11 классов с шириной шага 0,30 мм. В регрессию размах сократился до 1,90 мм (ушли в основном крайние левые варианты, но и справа ряд тоже

укоротился), условных классов стало меньше. Моды вариационных рядов были равны и составляли 1,60 мм, однако стоит отметить, что в регрессивную фазу модальный класс (1,60-1,90 мм) был более многочисленным (40,4% особей), чем модальный класс (1,40-1,70 мм) трансгрессивной фазы (33,4% особей). Правее моды в трансгрессию располагалось 62,6% самок (ow ≥ 1,60 мм), в регрессию – только 40,2 % самок.

Длина овисака (lw)

Распределение по признаку длины овисака (lw) было нормальным в обе фазы водности. Однако в трансгрессивную фазу наблюдался слабый эксцесс (Ex = 0,14), а в регрессивную – тенденция к левосторонней асимметрии. Величина размаха в регрессивную фазу значительно снизилась (с 2,32 до 1,60 мм), в большей степени ушли нижние варианты. Число классов осталось прежним (10), сократилась ширина шага. Мода трансгрессивной фазы совпадала с медианой (Mo = Me = 1,50 мм) и практически совпадала со средне арифметической ($\bar{x}$ = 1,49 мм). К модальному классу (1,44-1,70 мм) принадлежало 28,5% особей; длину овисака ≥ 1,50 мм имели 55,6% из всех исследованных самок.

В регрессивную фазу мода выборки составляла 1,80 мм, к модальному классу (1,69-1,87 мм) принадлежали 27,9% особей. Длину овисака больше либо равную модальной имели 31,6% исследованных самок, длина овисака меньше модальной была характерна для 68,4% особей (в чём некоторая тенденция к левосторонней асимметрии). Однако, если сравнивать с трансгрессивной фазой, lw ≥ 1,50 мм имели 74,1% особей.

Ширина головы (hw)

В трансгрессивную фазу распределение самок по ширине головы (hw) было мультимодальным, центральная (самая многочисленная) мода (Mo1) совпадала с медианой вариационного ряда и была равна 0,60 мм. Длина ряда составляла 0,53 мм, ширина шага 0,05, число условных классов – 11. К первому модальному классу (0,58-0,63 мм) относились 25,6% особей, ко второму модальному классу (0,68-0,73 мм, Mo2 = 0,70) – 24,0% и к третьему (0,48-0,53 мм, Mo3 = 0,50) – 20,9% от всех исследованных самок. Ширину головы большую либо равную медианной (≥ 0,60 мм) имели 65,3% особей.

В регрессивную фазу выделялась одна мода, которая совпадала с медианой и была равна 0,60 мм. К модальному классу (0,55-0,65 мм) принадлежало 49,2% особей (Ex = 1,51). Шириной головы ≥ 0,60 мм характеризовались 79,1% исследованных самок. Стоит отметить, что в регрессивную фазу вариационный ряд прирос справа (As = 0,93), однако особи, имевшие максимальную длину головы, были единичны.

Длина левой области фурки (fl-l)

В трансгрессивную фазу по признаку длины левой лопасти фурки (fl-l) распределение носило бимодальный характер, длина вариационного ряда составляла 0,483 мм, было выделено 5 классов с шагом 0,100 мм. Главная мода (Mo1) составляла 0,250 мм, вторая мода (Mo2) была равна 0,042 мм. Крайний левый класс, к которому относилась вторая мода, содержал в себе значения от 0,010 до 0,100 и отличался от остального вариационного ряда, во-первых: порядком исчисления (три знака после запятой), во-вторых – высокой внутренней вариабельностью. С учётом того, что коэффициент эксцесса имеет критически низкое значение (Ex = –0,95), можно говорить о том, что крайний левый класс сформирован особями, не принадлежащими данному вариационному ряду и составляющими собственное распределение. При рассмотрении более коротких периодов внутри полноводной фазы становится ясно, что особи, с fl-l < 0,100 мм встречались только в 2002 году (более того, весь экспериментальный материал 2002 года был представлен исключительно такими особями), далее до самого конца трансгрессии они отсутствовали в пробах.

Самки с длиной левой лопасти фурки < 0,100 мм практически полностью отсутствовали и в пробах, отобранных в регрессивную фазу (лишь 5 особей этого класса встретились в 2007 году). Единственная мода вариационного ряда составляла 0,250 мм, распределение было близко к нормальному. Если сравнивать вариационные ряды двух фаз по этой моде (отбросив крайний левый класс), то можно отметить следующее: в трансгрессию величину fl-l больше модальной имели 41,3% исследованных особей, в регрессию – 32,0%. В трансгрессивную фазу абсолютное большинство (61,1%) исследованных самок имели длину левой лопасти фурки ≥ 0,250 мм, в регрессивную наоборот: 68,1% особей имели fl-l ≤ 0,250 мм.

Длина правой области фурки (fl-r)

В трансгрессивную фазу по признаку длины правой лопасти фурки (fl-r) распределение носило бимодальный характер, длина вариационного ряда составляла 0,480 мм, выделялось 5 классов с шагом 0,100 мм. Главная мода (Mo1) составляла 0,250 мм, вторая мода (Mo2) была равна 0,042 мм. Крайний левый класс, к которому относилась вторая мода, содержал в себе значения от 0,010 до 0,100 и отличался от остального вариационного ряда, во-первых: порядком исчисления (три знака после запятой), во-вторых – высокой внутренней вариабельностью. С учётом того, что коэффициент эксцесса имеет критически низкое значение (Ex = –1,02), можно говорить о том, что крайний левый класс сформирован особями, не принадлежащими данному вариационному ряду и составляющими собственное распределение. При рассмотрении более коротких периодов внутри полноводной фазы становится ясно, что особи, с fl-l < 0,100 мм встречались только в 2002 году (более того, весь экспериментальный материал 2002 года был представлен исключительно такими особями), далее до самого конца трансгрессии они отсутствовали в пробах.

Самки с длиной правой лопасти фурки < 0,100 мм практически полностью отсутствовали и в пробах, отобранных в регрессивную фазу (лишь 5 особей этого класса встретились в 2007 году). Единственная мода составляла 0,200 мм, распределение было близко к нормальному. Если сравнивать вариационные ряды двух фаз по наибольшей моде трансгрессивной фазы (0,250 мм), отбросив крайний левый класс, то можно отметить следующее: в трансгрессию величину fl-r больше модальной имели 42,8% исследованных особей, в регрессию – 32,5%. В трансгрессивную фазу абсолютное большинство (60,5%) исследованных самок имели длину правой лопасти фурки ≥ 0,250 мм, в регрессивную наоборот: 67,5% особей имели fl-r ≤ 0,250 мм.

Длина правой лопасти фурки (fl-r) на сравнении с длиной левой лопасти (fl-l)

Абсолютное большинство «короткофурковых» самок, населявших оз. Кулундинское в 2002 году (трансгрессивная фаза) имели одинаковую длину левой и правой лопастей фурки. «Длиннофурковые» особи, населявшие оз. Кулундинское в ходе большей части трансгрессии и на всём протяжении регрессивной фазы отличались специфическим соотношением: у 60% из них правая лопасть была одинаковой длины с левой (fl-r = fl-l), у 20% – правая лопасть была длиннее левой (fl-r > fl-l) и у 20% правая лопасть была короче левой (fl-r < fl-l). Однако при детальном рассмотрении выборки выяснилось, что среди «длиннофурковых» особей, как в трансгрессивную, так и в регрессивную фазу имеются специфические особенности в соотношении длины лопастей фурки. Особи с длиной левой фурки от 0,100 до 0,300 мм имели свои особенности длины правой лопасти, а у особей с длиной левой лопасти фурки от 0,300 (включительно) до 0,500 правая лопасть варьировала по-своему. В трансгрессию особи, имевшие fl-l от 0,100 до 0,300 мм, составляли 74% всех «длиннофурковых» особей; 50% из этой подгруппы имели равную длину лопастей, у 30% правая лопасть была длиннее левой, у 20% – левая длиннее правой. Среди особей с fl-l от 0,300 до 0,500 мм преобладало большее единообразие: 80% имели равную длину лопастей, у 15% левая лопасть была длиннее правой и только у 5% из этой группы правая лопасть была

длиннее левой. В регрессивную фазу подгруппа с fl-l от 0,100 до 0,300 мм составляла 77% от всей «длиннофурковой» группировки, 60% самок из этой подгруппы имели равную длину лопастей, у 20% правая лопасть была длинней левой, и ещё у 20% правая лопасть была короче левой. Среди подгруппы с fl-l от 0,300 до 0,500 мм в регрессивную фазу 70% особей имели равную длину лопастей, у 20% правая лопасть была короче левой, и у 10% правая лопасть была длиннее левой.

Заключение

На динамику численности и биомассы рачка непосредственное влияние оказывают температура и минерализация воды. Корреляция между температурой воды за вегетационный период и численностью артемии выражается прямо-пропорциональной зависимостью. Корреляция же между общей минерализацией воды и средней плодовитостью рачка характеризуется обратно-пропорциональной зависимостью.

На фоне общего снижения вариабельности в регрессивную фазу происходит элиминация наиболее «короткотелых» самок; в популяции превалируют особи с длиной тела 10,2 мм и более, что можно рассматривать как тенденцию к увеличению длины тела самок в регрессивную фазу.

В регрессивную фазу среди самок не наблюдалось снижения границ вариабельности длины цефалоторакса, однако произошла некоторая перегруппировка в сторону увеличения числа особей, имеющих наибольшее значение данного признака, что, в целом, можно рассматривать как тенденцию к увеличению длины.

Из данных, приведённых в обобщённом вариационном ряду сложно говорить о том, в какую фазу самки имели более длинный абдомен. Возможно, этот признак не изменяется под влиянием фазы водности.

В регрессивную фазу водности самки характеризовались единообразием по признаку aw, в популяции выделялось многочисленное слабоварьирующее «ядро» с шириной абдомена 0,58-0,63 мм. В полноводную фазу, напротив, достаточно чётко выделялись отдельные группировки с разным показателем aw, большая часть самок имела ширину абдомена от 0,55 мм и выше (в регрессивную фазу большая часть самок имела значение aw $\geq$ 0,60 мм).

В регрессивную фазу водности наблюдалась тенденция к увеличению ширины овисака, со снижением вариабельности по данному признаку; к увеличению длины овисака, на фоне сокращения границ варьирования данного признака; проявляется тенденция к увеличению ширины головы и установление единообразия по данному признаку, по сравнению с полноводной.

С наступлением регрессивной фазы проявилась тенденция к укорочению левой и правой лопастей фурки у «длиннофурковых» особей. «Короткофурковые» особи в регрессивную фазу практически отсутствовали, а в трансгрессивную присутствовали не на всём протяжении фазы. «Короткофурковые» самки имеют равную длину лопастей. Среди «длиннофурковых» самок, в свою очередь, выделяется две подгруппы: «первая» – с длиной левой лопасти от 0,100 до 0,300 мм и «вторая» – от 0,300 (включительно) до 0,500 мм. В трансгрессивную фазу по соотношению длин лопастей большее единообразие наблюдается во «второй» подгруппе, в регрессивную – в «первой». Говоря грубо: в трансгрессивную фазу симметричными чаще были самые длинные фурки, в регрессивную – короткие.

Список литературы

1. *Аникин, В. П.* Некоторые биологические наблюдения над ракообразными из рода Artemia / В. П. Аникин // Изв. Томск. ун-та. – 1898. - Т. 14. – С. 100–200.

2. *Богатова, И. Б.* Активация диапаузирующих яиц Artemia salina (L.) / И. Б. Богатова, З. И. Шмакова // Гидробиол. журн. – 1980. – Т. 16, вып. 3. – С. 180.

3. *Веснина, Л.В.* Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования / Л. В. Веснина, В. Б. Журавлев, В. А. Новоселов и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. – 285 с.

4. *Веснина, Л. В.* Зоопланктон озерных экосистем равнины Алтайского края. – Новосибирск: Наука, 2002. – 158 с.

5. *Веснина, Л. В.* Жаброногий рачок артемия: перспективы использования его ресурса // Рыбоводство и рыболовство. – 2002а. – №1. – С. 47.

6. *Веснина, Л. В*. Биологические ресурсы Алтайского края и пути их комплексного использования // Рыбное хозяйство. – 2002б. – №3. – С. 47.

7. *Веснина, Л. В.* Особенности репродуктивных характеристик рачка ARTEMIA SP. в озере Большое Яровое / Л. В. Веснина, Г. А. Царева // Стратегия развития аквакультуры в условиях 21 века: материалы междунар. конф. – Минск, 2004. – С. 28-33.

8. *Веснина, Л. В.* Фитопланктон соленых озер степной зоны / Л. В. Веснина, Е. Ю. Митрофанова // Пойменные и дельтовые биоценозы голарктики: биологическое многообразие, экология и эволюция. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», Астрахань, 13-18 мая 2019 г. – Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич. – 2019. – С. 42-47.

9. *Веснина, Л.В.* Продуктивность цист рачка Artemia Leach 1819 в гипергалинных озерах Алтайского края: монография / Л. В. Веснина, Р. А. Клепиков, Е. В. Пищенко, И. В. Морузи; Новосибирский государственный аграрный университет; Институт водных и экологических проблем СО РАН. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой Колос», 2021. – 147 с.

10. *Веснина, Л. В.* Современное состояние зоопланктона озера Кулундинское Алтайского края в период фазы трансгрессии / Л. В. Веснина, Ю. А. Веснин // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. № 3 (37). С. 20-35.

11. *Веснина, Л. В.* Влияние факторов окружающей среды на динамику зоопланктона соленого озера Кулундинское (Западная Сибирь)/ Л. В. Веснина, Д. М. Безматерных // Экология. – 2023. – № 3. – С. 235–242. – DOI 10.31857/S0367059723030095

12. *Веснина, Л. В.* Особенности морфометрических признаков жаброногого рачка Artemia Leach, 1819 в озере Кулундинском Алтайского края в период опреснения / Л. В. Веснина, М. В. Лассый, Ю. А. Веснин // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – № 8. – С. 517-528.

13. *Голубев, А. П.* Изменчивость количественных параметров роста и воспроизводства у Artemia (Crustacea, Anostraca) как фактор адаптации к условиям среды и механизм преобразования жизненных циклов / А. П. Голубев // Биоразнообразие артемии в странах СНГ: современное состояние ее запасов и их использование: сб. докл. междунар. науч.-исслед. семинара. – Тюмень, 2004. – С. 105-115.

14. *Литвиненко, Л. И.* Инструкция по использованию артемии в аквакультуре / Л. И. Литвиненко, Ю. П. Мамонтов, О. В. Иванова, А. И. Литвиненко, М. С. Чебанов. – Тюмень, 2000. – 58 с.

15. *Одум, Ю.* Основы экологии / Ю. Одум. - М.: Мир, 1975. - 733 с.

16. *Ронжина, Т. О*. Биология и функционирование жаброногого рачка Artemia sp. в соляных озерах Алтайского края / Т. О. Ронжина // Проблемы биологии, экологии, географии, образования: история и современность: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. - СПб: ЛГУ им. А. С. Пушкина, 2008. - С. 122-124.

17. *Gilchrist, B. M.* Growth and form of the brine shrimp Artemia salina (L.) / B. M. Gilchrist // Proc. Zool. Soc. Ind.- 1960. – Vol. 134, №2. – P. 221-235.

18. *Mura, G.* The use of a multidisciplinary approach for the characterization of a diploid parthenogenetic Artemia population from Torre Colimena (Apulia, Italy) / G.Mura, A.D.Baxevanis, G.M.Lopez, F.Hontoria, I. Kappas, S. Moscatello, G. Fancello, F. Amat, T.J. Abatzopoulos // J. of plankton research - 2005. - Vol. 27, №9. - P. 895-907.

19. *Sorgeloos, P.* Aquaculture / P. Sorgeloos. – 1973. – №1. – P. 385-391.

20. *Vanhec, P., Cooreman A., Sorgeloos P.* International Stady on Artemia. XY. Effects of lightintensity on haching rate of Artemia cysts from different gegraphical origin // Mar. Ecol. Prod. Ser. – 1981. – Vol. 5 (1). – P. 111 - 114.

21. *Vesnina, L., Bezmaternykh D., Moruzi I., Pishchenko E.* Seasonal and Interannual Dynamics of Zooplankton from Lake Kulundinskoye in 2017–2020 // The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2023 A. Beskopylny et al. (Eds.): INTERAGROMASH 2022, LNNS 575, pp. 189–198, 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_19

22. *Vesnina, L.V., Bezmaternykh D.M.* Long-term and seasonal dynamics of zooplankton in hypergaline lake Kulundinskoye (Kulunda Steppe, Russia) // Acta Biologica Sibirica. – 2023. – Vol. 9. – P. 387–396. https://doi.org/10.5281/zenodo.7927562

23. *Vesnina, L.V., Bezmaternykh D.M.* Influence of Environmental Factors on the Dynamics of Zooplankton in Lake Kulunda (Western Siberia) // Russian Journal of Ecology. – 2023. – Vol. 54, No. 3. – P. 243–250. DOI: 10.1134/S1067413623030086

УДК 594.32

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЧУЖЕРОДНОГО МОЛЛЮСКА VIVIPARUS VIVIPARUS (LINNAEUS, 1758) В НОВОСИБИРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Д.Д. Волгина, Е.Н.Крылова
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, РФ,
volgina.dasha@inbox.ru

Аннотация. Представлены данные о питании инвазивного моллюска речной живородки *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) в Новосибирском водохранилище. Содержимое пищеварительного тракта исследованных моллюсков в значительной степени было представлено детритом, также обнаруживали песок и водоросли, находки животных останков единичны. Анализ стабильных изотопов ^{13}C и ^{15}N мышечной ткани моллюска и его потенциальных трофических ресурсов показал преобладание детрита и сестона в составе ассимилированной пищи. Дополнительно была оценена скорость фильтрации моллюсков, в лабораторных условиях показатель достигал 207 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$. Высказано предположение о том, что массовые скопления речной живородки в литоральных участках водоема могут способствовать улучшению качества воды, участвуя в процессах биологического самоочищения.

Ключевые слова: инвазивные моллюски, Viviparus viviparus, питание моллюсков, фильтрационная активность, биологическое самоочищение, стабильные изотопы

FEEDING FEATURES OF THE INVASIVE MOLLUSC VIVIPARUS VIVIPARUS (LINNAEUS, 1758) IN THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR

D.D. Volgina, E.N. Krylova
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation, volgina.dasha@inbox.ru

Summary. Data on the feeding features of the invasive river snail Viviparus viviparus (Linnaeus, 1758) in the Novosibirsk reservoir are presented. The content of the digestive tracts of the studied mollusks were largely represented by detritus, sand and algae were also found, finds of animal remains were rare. Stable carbon and nitrogen isotope analysis of the mollusks muscle tissue and its potential trophic resources showed the predominance of detritus and seston in the composition of assimilated food. Additionally, the filtration rate of mollusks was estimated. Its maximum values reached 207 $ml*h^{-1}*ind.^{-1}$ under laboratory conditions. The authors suggested that mass river snail concentrations in the littoral areas of the reservoir can improve water quality by participating in the processes of biological self-purification.

Keywords: invasive mollusks, Viviparus viviparus, mollusks diet, filtration activity, biological self-purification, stable isotopes

Успех инвазии определяется рядом факторов, среди которых важную роль играют трофические взаимоотношения. В связи с этим одним из ключевых направлений исследования экологии чужеродных видов является изучение их роли в трофической сети экосистемы-реципиента.

Брюхоногий моллюск *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) был непреднамеренно интродуцирован в Новосибирское водохранилище в конце 90-х годов прошлого века. К настоящему времени речная живородка является одним из наиболее многочисленных чужеродных видов водохранилища. Об успешности процесса натурализации моллюска говорят высокие показатели его численности и биомассы, а также распространение моллюска практически по всей акватории средней и нижней части Новосибирского водохранилища [5].

Речная живородка – моллюск со смешанным типом питания, он может получать пищу, собирая ее с различных поверхностей и отфильтровывая из толщи воды [11]. Такая трофическая пластичность может давать дополнительное преимущество моллюску при освоении им новых местообитаний. Изучение особенностей питания речной живородки в Новосибирском водохранилище позволит уточнить ее положение в трофической сети водоема, а также даст дополнительную информацию для прогнозирования влияния вселенца на экосистему водоема-реципиента.

Для оценки особенностей питания V. viviparus в Новосибирском водохранилище было изучено содержимое пищеварительного тракта моллюсков, выполнен анализ стабильных изотопов углерода и азота его мышечной ткани. Кроме того, был проведен лабораторный эксперимент по изучению фильтрационной активности речной живородки.

Материалы и методы

Материалы для исследований содержимого желудков моллюсков отбирали в мае и июле 2018 года в точках у сел Ордынское и Нижнекаменка, а также в Караканском заливе Новосибирского водохранилища. Каждую особь взвешивали, измеряли основные морфометрические характеристики (ширина и высота раковины и устья, высоту завитка и последнего оборота) определяли возраст и половую принадлежность. У самок дополнительно подсчитывали общее количество эмбрионов. Для получения сведений о содержимом пищеварительного тракта проводили вскрытие моллюсков, содержимое пищеварительного тракта собирали на фильтровальную бумагу, взвешивали и разделяли на группы (детрит, водоросли, песок).

Сбор особей живородки, а также их потенциальных трофических ресурсов (детрит, макрофиты (сусак, рдест), сестон и фитоперифитон) для проведения изотопного анализа и изучения трофической ниши вселенца в Новосибирском

водохранилище осуществляли в Бердском заливе в 2019 и 2020 гг. Отобранные пробы трофических ресурсов, а также образцы мышечной ткани моллюска промывали в дистиллированной воде и помещали в индивидуальные микропробирки. Полученные пробы высушивали в сушильном шкафу при температуре 60 °С в течение 2 суток. Затем их измельчали, взвешивали и помещали в капсулы. Анализ стабильных изотопов выполнен Центром коллективного пользования при ИПЭЭ РАН, г. Москва с использованием изотопного масс-спектрометра ThermoFinniganDelta V Plus.

Моллюсков для проведения эксперимента по фильтрационной активности собирали вручную в Бердском заливе Новосибирского водохранилища в сентябре 2019 г., помещали в емкости с водой из водохранилища и транспортировали в лабораторию. В дальнейшем их содержали в аквариуме с отстоянной водой, при постоянной аэрации и 12-часовым световым режимом. Кормление осуществляли с использованием суспензии хлореллы Chlorella sp. и кормом для донных рыб. Для оценки фильтрационной активности речной живородки использовали метод, основанный на учете изменений концентрации культуры одноклеточной водоросли Chlorella sp. В 8 экспериментальных стаканов помещали моллюсков 2-х размерных групп (высота раковины 11,2-16,6 мм и 20-30 мм) и добавляли 250 мл экспериментальной суспензии. В качестве контроля использовали 3 стакана с экспериментальной суспензией, но без моллюсков. Эксперимент проводили при двух начальных концентрациях – низкой ($<8,5*10^4$ кл/мл) и высокой ($>63,5*10^4$ кл/мл). Длительность каждого исследования составляла 2 часа. Подсчет концентрации культуры одноклеточной водоросли хлореллы проводили с использованием камеры Горяева.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием R 4.2.3 (стандартный пакет и пакет SIMMR для построения модели смешивания для анализа вклада различных трофических источников в рацион речной живородки).

Результаты и обсуждение

В кишечнике речной живородки Новосибирского водохранилища отмечен растительный детрит (у отдельных экземпляров до 100% содержимого кишечника), водоросли (до 30%), животные останки (единичные находки) и песок (до 50%). Значительная доля детрита в рационе моллюска обуславливается его обитанием в донных отложениях, которые богаты мертвой органикой. В исследованиях, проведенных в водоемах естественного ареала (Зегжинское водохранилище, реки Буг, Нарев и Рзондза; Польша) на долю детрита в кишечнике живородки приходилось до 90% [11], что сопоставимо с нашими данными.

Водоросли являются энергетически более ценным источником питания чем детрит [4], моллюски-фильтраторы способны извлекать их из толщи воды вместе с другими взвешенными частицами, участвуя в процессах биологического самоочищения воды. В лабораторных условиях максимальная скорость фильтрации речной живородки достигала 207 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$. Средние значения были ниже: в первой размерной группе они составляли 18,5±2,8 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$ и 22,2±3,4 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$, во второй – 85,3±10,0 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$ и 121,8±1,9 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$ (при низкой и при высокой концентрациях, соответственно). Полученные нами данные сопоставимы с уже известными для речной живородки значениями скорости фильтрации, достигающими 141,0 мл*ч$^{-1}$*экз.$^{-1}$ [10]. По сравнению с двустворчатыми моллюсками скорость фильтрации брюхоногих имеет меньшие значения, однако, учитывая высокую плотность поселений брюхоногих моллюсков, масштабы влияния видов на экосистемы могут быть сопоставимы с двустворчатыми [12; 13]. Данные по изучению влияния фильтрационной активности брюхоногих моллюсков на водные экосистемы в натурных условиях единичны [2], однако результаты лабораторных экспериментов свидетельствуют о том, что фильтрационная активность брюхоногих моллюсков способствует извлечению из

толщи воды водорослей планктона и взвешенных веществ, увеличению ее прозрачности [3; 8; 12].

Анализ стабильных изотопов углерода и азота является достаточно распространенным методом изучения трофических сетей водных экосистем [9]. Он позволяет определить трофический уровень организма и дополнить данные, полученные при использовании классических методов изучения диеты речной живородки. Для оценки особенностей питания V. viviparus в Бердском заливе Новосибирского водохранилища был выполнен сравнительный анализ изотопного состава мышечной ткани моллюсков и ее потенциальных трофических ресурсов. Исследование показало, что значительный вклад в рацион моллюска вносили детрит и сестон, средняя доля этих ресурсов в рационе составляла 37,2±18,6% и 34,2±10,1%. Еще 23±12,7% приходилось на фитоперифитон, а доля макрофитов была наименьшей и составляла 5,0±4,4% ассимилированной пищи (рис. 1).

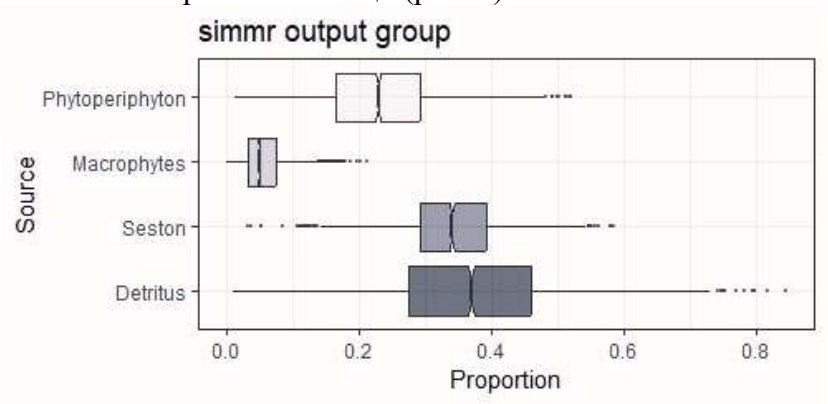


Рис. 1. Вклад различных источников питания (детрита, сестона, макрофитов и фитоперифитона) в рацион речной живородки Бердского залива Новосибирского водохранилища

Выводы

По среднемноголетним значениям концентрации хлорофилла а, воды Бердского залива Новосибирского водохранилища соответствуют гиперэвтрофным [1]. Также этот участок водоема характеризуется повышенным содержанием органических и биогенных веществ в воде, периодически отмечаются случаи массового развития токсичных цианобактерий, что затрудняет водопользования и рекреацию. Проведенные исследования позволяют предположить, что в местах массового скопления на литоральных участках Новосибирского водохранилища речная живородка может извлекать планктонные водоросли и взвешенные вещества из толщи воды, тем самым активизируя процессы биологического самоочищения в придонных слоях воды.

Список литературы

1. *Котовщиков, А.В.* Пространственная неоднородность содержания хлорофилла а в Новосибирском водохранилище / А.В. Котовищиков, Л.В. Яныгина // Известия АО РГО. – 2018. – №3 (50). – С. 46–52.

2. *Уваева, Е.И.* Седиментационная активность Viviparus viviparus (Mollusca, Gastropoda, Pectinibranchia) в водохранилище Видсичном / Е.И. Уваева, А.П. Стадниченко // Гидробиологический журнал. – 2016. – Т. 52, № 3. – С. 19–25.

3. *Уваева, Е.И.* Роль *Viviparus contectus* (Millet) (Mollusca, Viviparidae) в осаждении взвесей и трансформации органического вещества в реке Тня (Украина) / Е.И. Уваева, Г.Х. Щербина // Биология внутренних вод. – 2017. – № 4. – С. 61–65.

4. *Цихон-Луканина, Е.М.* Трофология водных моллюсков / Е.М. Цихон-Луканина. – М.: Наука, 1987. – 145 с.

5. *Яныгина, Л.В.* Многолетняя динамика и современное распределение речной живородки (*Viviparus viviparus*) / Л.В. Яныгина, А.М. Визер// Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2020. – №49. – С. 149–165. DOI: 10.17223/19988591/49/8.

6. *Яныгина, Л.В.* Роль *Viviparus viviparus* (L.) (Gastropoda, Viviparidae) в формировании сообществ макрозообентоса Новосибирского водохранилища / Л.В. Яныгина // Российский журнал Биологических Инвазий. – 2011. – № 4. – С. 98–107.

7. *Arias, A.* Integrative taxonomy reveals the occurrence of the Asian freshwater snail Sinotaia cf. quadrata in inland waters of SW Europe / A. Arias, I. Fernández-Rodríguez, O. Sánchez Fernández, Y. J. B.Pichs // Aquatic Invasions. – 2020. – № 15. – P. 616–632. https://doi.org/10.3391/ai.2020.15.4.05 617.

8. *Brendelberger, H.* Suspension feeding in Bithynia tentaculata (Prosobranchia, Bithyniidae), as affected by body size, food, and temperature / H. Brendelberger, S. Jurgens // Oecologia. – 1993. – № 94. – P. 36–42.

9. *Gladyshev, I.* Stable Isotope Analyses in Aquatic Ecology (a review) / I. Gladyshev // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2009. – №2. – P. 381–402. https://doi.org/10.17516/1997-1389-0220.

10. *Höckelmann, C.* The respiration and filter-feeding rates of the snail Viviparus viviparus (Gastropoda) under simulated stream conditions / C. Höckelmann, M. Pusch // Archiv fur Hydrobiologie. – 2002. – №149. – P.553– 568.

11. *Jakubik, B.* Food and feeding of Viviparus viviparus (L.) (Gastropoda) in dam reservoir and river habitats / B. Jakubik // Pol. J. Ecol. – 2009. – №57. – P.321–330.

12. *Olden, J.* Filtration rates of the non-native Chinese mystery snail (Bellamya chinensis) and potential impacts on microbial communities / J. Olden, L. Ray, M. Mims, C. Horner-Devine // Limnetica. – 2013. – №32. – P. 107–120.

13. *Sylvester, F.* Filtration rates of the invasive pest bivalve Limnoperna fortunei as a function of Size and Temperature / F. Sylvester, J. Dorado, D. Boltovskoy, Á. Juárez, D. Cataldo // Hydrobiologia. – 2005. – №534. – P.71–80. https://doi.org/10.1007/s10750-004-1322-3.

УДК: 577.115:597.553.1/.554.5(261.1)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ САМЦОВ И САМОК ОКУНЯ-КЛЮВАЧА (SEBASTES MENTELLA), ОТЛОВЛЕННЫХ В ГРАДИЕНТЕ ГЛУБИН МОРЯ ИРМИНГЕРА (СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА) В 2019 И 2021 ГГ.

В.П. Воронин[1], А.Ю. Рольский[2], Д.В. Артеменков[3], А.М. Орлов[4,5], С.А. Мурзина[1]

[1] Институт биологии – обособленное подразделение ФГУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИБ КарНЦ РАН), г. Петрозаводск, Россия. e-mail: voronen-viktor@mail.ru, murzina.svetlana@gmail.com

[2] Полярный филиал “Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии” (ФГБНУ “ПИНРО” им. Н.М. Книповича), г. Мурманск, Россия. e-mail: rol-lex@mail.ru

[3] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, Россия. e-mail: artemenkov@vniro.ru

[4] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева РАН (ИПЭЭ РАН), г. Москва, Россия. e-mail: orlov@vniro.ru

[5] Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва, Россия. e-mail: orlov@vniro.ru

Аннотация. Проведено липидное профилирование мышечной ткани самцов и самок окуня-клювача (*Sebastes mentella*) в море Ирмингера (Северная Атлантика) уловов 2019 и 2021 года. Дополнены и расширены данные и представления о динамике изменения липидных компонентов вида в градиенте глубин моря Ирмингера. Установлена стабильная биохимическая стратегия адаптации с участием липидов в части поддержания надлежащей степени плавучести при осуществлении вертикальных миграций. Отмечены различия в содержании минорных липидных классов, связанные с влиянием абиотических факторов среды.

Ключевые слова: липиды, окунь-клювач, *Sebastes mentella*, мезопелагиаль, море Ирмингера, Северная Атлантика.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE LIPID PROFILE OF MALE AND FEMALE BEAKED REDFISH (SEBASTES MENTELLA) CAUGHT IN THE DEPTH OF THE IRMINGER SEA (THE NORTH ATLANTIC) IN 2019 AND 2021 YEARS.

V.P. Voronin[1], A.Yu. Rolski[2]i, D.V. Artemenkov[3], A.M. Orlov[4,5], S.A. Murzina[1]

[1] Institute of Biology is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of the Federal Research Center "Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (IB KarSC RAS), Petrozavodsk, Russia. e-mail: voronen-viktor@mail.ru, murzina.svetlana@gmail.com

[2] Polar Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (N.M. Knipovich PINRO Federal State Budgetary Research University), Murmansk, Russia. e-mail: rol-lex@mail.ru

[3] All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia. e-mail: artemenkov@vniro.ru

[4] Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences (IPEE RAS), Moscow, Russia. e-mail: orlov@vniro.ru

[5] P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS), Moscow, Russia. e-mail: orlov@vniro.ru

Summary. Lipid profiling of muscle tissue of male and female redfish (Sebastes mentella) from different catches (2019 and 2021 years) in the Irminger Sea (North Atlantic) was carried out. Previously published information on the dynamics of changes in the lipid components of the species in the depth gradient of the Irminger Sea has been supplemented and expanded. A sustainable adaptation strategy has been established in terms of maintaining the appropriate degree of buoyancy during vertical migrations. Differences in the content of minor lipid classes associated with the influence of abiotic environmental factors were noted.
Keywords: lipids, beaked redfish, Sebastes mentella, mesopelagic zone, Irminger Sea, North Atlantic

Липиды – многофункциональные вещества, вносящие значительный вклад в развитие биохимических адаптаций гидробионтов, направленных на поддержание гомеостаза метаболических процессов и внутренней среды организма [3; 6; 8; 11; 14; 32]. Молекулярные формы липидов участвуют в широком спектре биохимических и физиологических процессов, таких как поддержание надлежащей плавучести глубоководных рыб, формирование оптимальной степени микровязкости клеточной мембраны, энергетический обмен, а также являются сигнальными молекулами, вторичными мессенджерами и предшественниками биологически активных веществ [11; 19; 22; 27; 31; 32; 34; 36]. При этом стратегии адаптации организма к условиям обитания носят видоспецифичный характер и формируют множество метаболических путей, которые зависят от таких факторов среды как прямой или опосредованный жизненный цикл, пищевой рацион, положение в трофической цепи, способность к осуществлению суточных вертикальных миграций и другие.

Среди широкого разнообразия глубоководных гидробионтов района Северо-Восточной Атлантики, обитающих в диапазоне глубин 200–1000 метров (т.н. «мезопелагическая зона»), одним из наиболее массовых и коммерчески ценных видов является окунь-клювач *Sebastes mentella*, также известный как «клюворылый», «морской окунь» [4; 28; 29]. Ареал его обитания простирается от Баренцева и Гренландского морей до побережья Канады через центральные районы Северной Атлантики [5; 15], при этом наиболее многочисленная популяция обитает в море Ирмингера [28]. Вопросам биологии, экологии, популяционной структуры, а также распространению данного вида посвящён ряд работ [4; 5; 9; 15; 16], однако отдельные аспекты остаются предметом дискуссий [4; 5; 16]. Так, например, крайне слабо изученными остаются эколого-биохимические адаптации окуня-клювача в градиенте глубин [33]. Несмотря на то, что имеются отдельные исследования по изменению метаболизма липидов окуня-клювача в экстремальных, но при этом стабильных условиях окружающей среды [16; 25; 26], следует отметить, что существующая информация не дает представления о полном липидном и жирнокислотном спектре клюворылого окуня в градиенте глубин. Несмотря на это, в одном из наших предыдущих исследований предпринималась попытка изучения полного липидного профиля и описания эколого-биохимических стратегий адаптации окуня-клювача [33]. В настоящем же исследовании была поставлена цель сравнить липидный профиль самцов и самок окуня-клювача (*Sebastes mentella*), обитающих в градиенте глубин 250–700 метров моря Ирмингера, выловленных в 2019 и 2021 годах, что позволит расширить и актуализировать уже существующие знания о биохимических механизмах адаптаций у рыб северных морей к мезопелагическому образу жизни.

Материалы и методы

Сбор образцов мышечной ткани окуня-клювача (*S. mentella*) в 2019 году осуществлялся в рамках научно-исследовательских работ в море Ирмингера (Северо-Восточная Атлантика: 59°60′- 64°60′ с.ш., 26°20′-41°50′ з.д.) в летний период (июнь-

июль) на борту НИС «Атлантида». Отбор материала осуществлялся путём траления на глубинах 250, 325, 375, 400, 650 и 700 метров. Сбор образцов мышц в 2021 году осуществлялся в период проведения тралово-акустической съёмки окуня-клювача в море Ирминегра и смежной акватории моря Лабрадор в летний период (июнь-август) на борту НИС «Атлантида». Отбор материала осуществлялся 3 типами траления: (1) в «чистом» акустическом слое водной толщи на глубине 270 метров; (2) от верхней кромки звукорассеивающего слоя (ЗРС) до 500 метров – диапазон глубин 300-450 метров (средняя глубина 375 м), 320-450 метров (средняя глубина 385 метров), 330-450 метров (средняя глубина 390 метров), 350-450 метров (средняя глубина 400 метров), 400-450 метров (средняя глубина 425 метров); (3) диапазон глубины ниже 500 метров – 550-840 метров (средняя глубина 695 метров) и 550-850 метров (средняя глубина 700 метров).

Экстракцию общих липидов (ОЛ) из гомогенатов мышечной ткани осуществляли классическим методом Фолча [12]. Полученные экстракты подвергали фракционированию на индивидуальные классы липидов методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) в системе растворителей гексан-диэтиловый эфир-уксусная кислота (32:8:0,8 мл об/об) [23]. Качественную идентификацию фракций общих фосфолипидов (ФЛ), моноацилглицеринов (МАГ), диацилглицеринов (ДАГ), триацилглицеринов (ТАГ), холестерина (ХС), эфиров холестерина (ЭХС), свободных жирных кислот (СЖК) и восков проводили по референтным стандартам соответствующих компонентов (Sigma-Aldrich, США) с учётом значений Rf. В качестве оборудования применялся комплекс для ВЭТСХ CAMAG (Швейцария), состоящий из полуавтоматического аппликатора Linomat 5, хроматографической камеры для элюирования ADC2, денситометра TLC Scanner 4 и дериватизатора [13]. Количественную оценку проводили по интенсивности поглощения окрашенных липидных пятен при длине волны 360 нм. Окраску пятен осуществляли водным раствором медного купороса ($CuSO_4$), подкисленного ортофосфорной кислотой (H_3PO_4), с последующим проявлением окрашенных липидных пятен путём нагревания хроматографической пластины до 160°C в течение 15 минут.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием языка программирования R (версия 4.2.2) в среде разработки «RStudio» с применением дополнительных пакетов. Для удобства сравнения липидного профиля мышечной ткани из разных уловов, а также определения динамики изменения общих липидов и липидных классов в градиенте глубин, использовали усреднённые значения глубин их вылова. Достоверность различий между группами оценивали при помощи перестановочного многомерного дисперсионного анализа с использованием матриц расстояний (ADONIS), статистического анализа сходства (ANOSIM) и непараметрического теста ранговых сумм Вилкоксона-Манна-Уитни [2]. Ординацию многомерных данных проводили методом неметрического многомерного шкалирования (NMDS).

Результаты

Установлено, что содержание ОЛ в мышечной ткани окуня-клювача из уловов 2019 и 2021 года достоверно не различалось у самцов (8,32 vs 7,28% сухого вещества), тогда как у самок были отмечены различия – 6,75 vs 7.33% сухого вещества, соответственно (рис.1A). Сравнительный анализ содержания ОЛ на глубинах 375, 400 и 700 метров (отдельные глубины траления, совпадающие в уловах 2019 и 2021 года) показал достоверные различия между уловами для самок на глубине 400 метров (Рис. 1B). Отмечено, что при объединении двух уловов в единую выборку, изменение содержания ОЛ на отдельных (соседних) глубинах достоверно не изменяется, за исключением самцов на глубине 250, 400 и 700 метров, а также самок на глубине 390 метров (Рис. 1C).

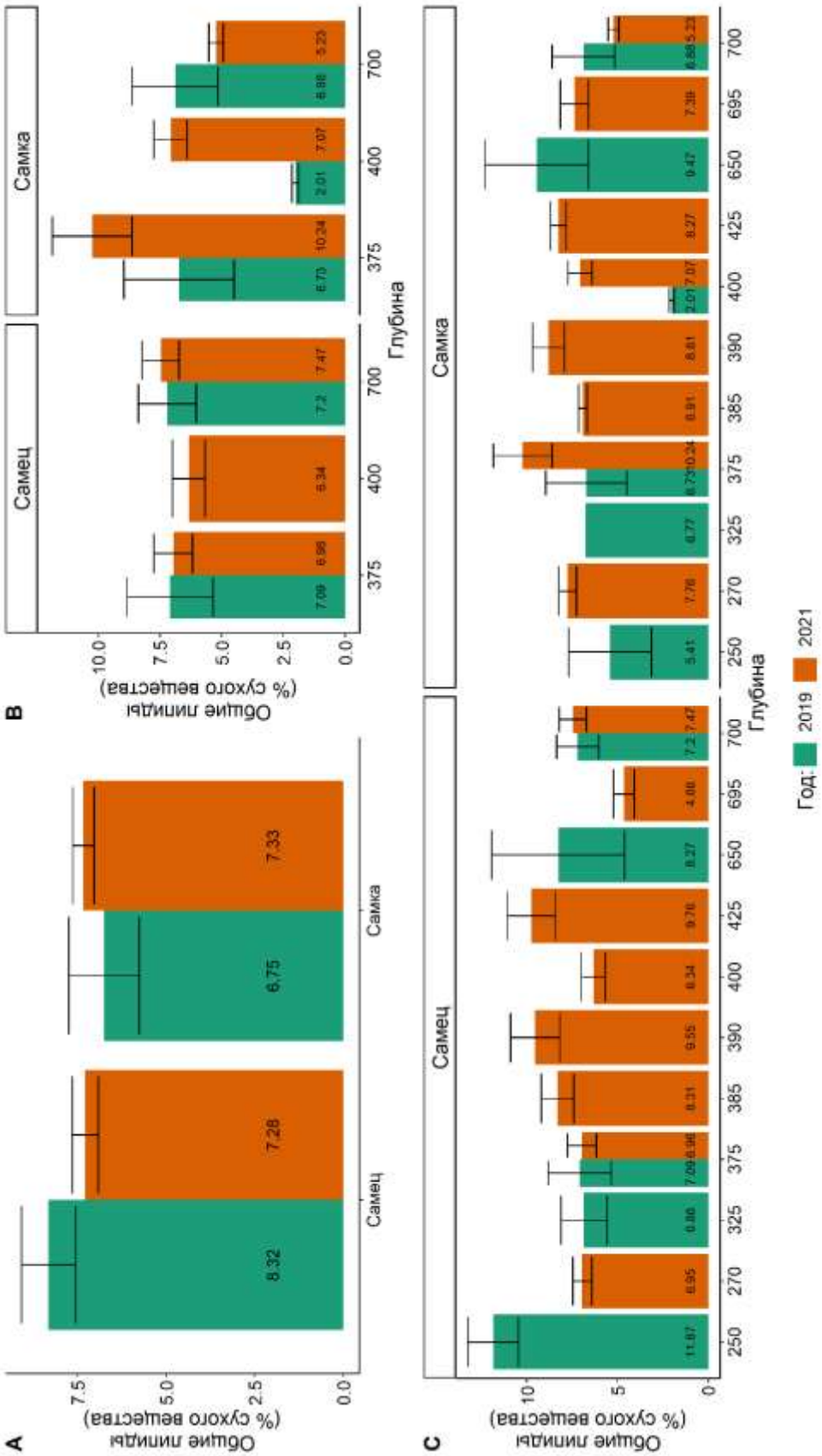


Рис. 1. Содержание общих липидов (% сухого вещества) в мышечной ткани самцов и самок окуня-клювача *Sebastes mentella* (A), на отдельных глубинах (B), а также объединённая выборка двух уловов (C) в диапазоне глубин моря Ирмингера (Северная Атлантика)

Фракционирование ОЛ на индивидуальные классы нейтральных липидов и их последующая обработка с применением перестановочного многомерного дисперсионного анализа с использованием матриц расстояний (ADONIS) выявили достоверные различия между уловами (p-value = 0,001), тогда как половых различий обнаружено не было (p-value = 0,308). Применение алгоритма многомерного неметрического шкалирования (NMDS) позволило установить позиционирование индивидуальных глубин каждого улова по векторам исследуемых признаков (количественному содержанию индивидуальных липидных классов) относительно друг друга в многомерном пространстве (Рис. 2). Статистический анализ сходства ANOSIM установил, что уловы являются аналогичными с некоторым перекрытием облаков дисперсий (R = 0,2172, p-value = 0,001).

Содержание индивидуальных классов липидов в мышечной ткани самцов и самок окуня-клювача из двух уловов представлено в формате тепловой карты (Рис. 3). Установлено, что доминирующим классом в обоих уловах являются ЭХС – 2,68–4,86 и 0,67–3,57% сухого вещества в улове 2019 года и 1,65–4,11 и 1,84–3,96% сухого вещества в улове 2021 года, соответственно. Количественное содержание ТАГ и ФЛ варьировало в пределах 1,12–1,70, 1,01–2,27 и 0,44–2,14, 0,23–1,39% сухого вещества в мышцах у самцов и самок в улове 2019 года, соответственно, тогда как в улове 2021 года – 1,18–3,24, 0,69–1,65 и 1,25–2,53, 0,90–2,03% сухого вещества, соответственно. Попарное сравнение концентрации классов липидов на глубинах 375, 400 и 700 метров позволило установить достоверные различия между уловами у самцов на глубине 375 (МАГ, ДАГ и СЖК) и 700 метров (ДАГ и СЖК), тогда как у самок на глубинах 375 (ДАГ, ХС, СЖК), 400 (ФЛ, ДАГ, ТАГ, ХС, ЭХС) и 700 метров (МАГ, ДАГ, СЖК, Воска).

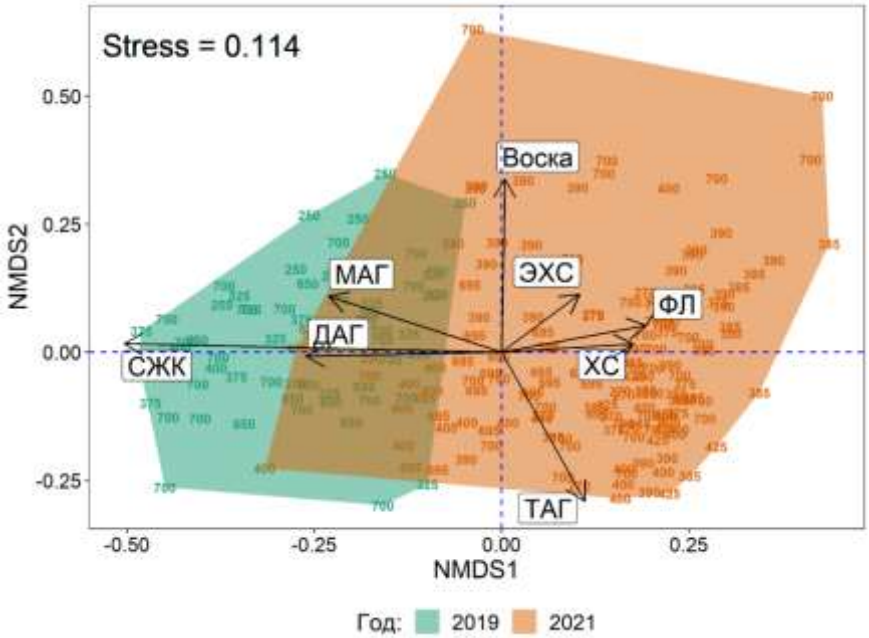


Рис. 2. Ординация неметрического многомерного шкалирования (NMDS) индивидуальных глубин траления в уловах 2019 и 2021 года по количественному содержанию индивидуальных классов липидов

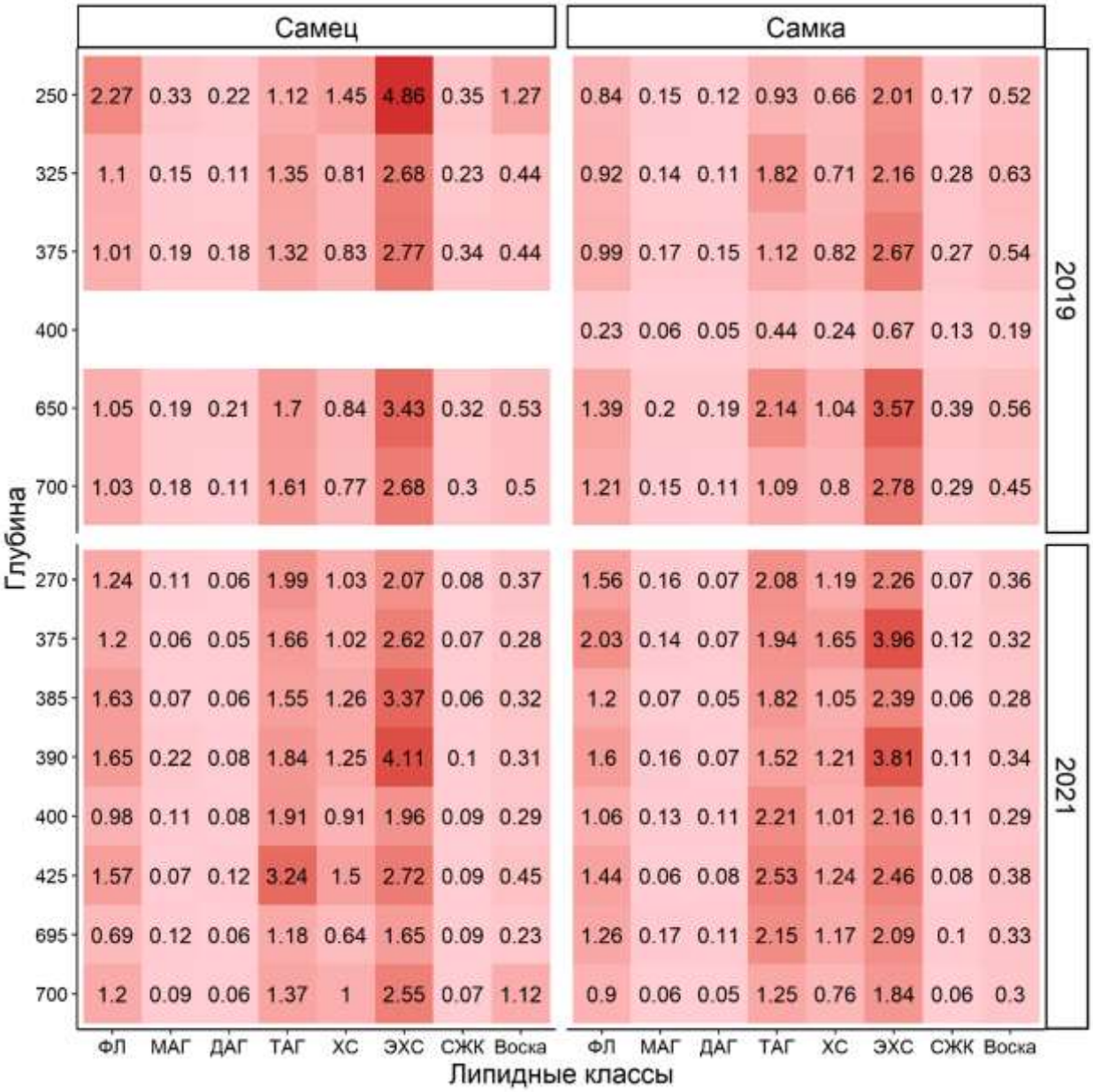


Рис. 3. Тепловая карта содержания индивидуальных классов липидов в мышечной ткани самцов и самок окуня-клювача (*Sebastes mentella*) в градиенте глубин моря Ирмингера (Северная Атлантика) из уловов 2019 и 2021 года

Обсуждение

Липиды – основные структурные и энергетические компоненты морских гидробионтов, депонирующиеся, в основном, в мышечной ткани и печени [17; 25]. Установленное относительно низкое содержание ОЛ в мышечной ткани самцов и самок в двух уловах можно рассматривать как одну из характерных особенностей окуня-клювача. В одной из наших предыдущих работ было описано количественное содержание ОЛ в мышечной ткани данного вида из улова 2019 года [33]. Результаты же настоящего исследования, а именно отсутствие достоверных различий между двумя уловами, подтверждают сделанные нами ранее выводы о рассмотрении вида *S. mentella* как одного из пищевых и биотехнологически ценных продуктов коммерческого промысла [20; 33].

Известно, что с возрастом увеличиваются размерно-весовые характеристики клюворылого окуня и предпочтительная глубина его обитания, при этом сохраняются

вертикальные суточные и сезонные (репродуктивные, нагульные) миграции [29]. Отсутствие статистически значимых достоверных различий в содержании ОЛ между отдельно взятыми глубинами у самцов и самок демонстрирует участие липидов в обеспечении надлежащих метаболических функций для определённых размерно-весовых группировок во всём диапазоне глубин и независимость выбора глубины обитания. Стоит отметить, что установленные различия у самок на глубине 400 метров, вероятнее всего, связаны с объёмом выборки, так как в 2019 году на данной глубине было выловлено только 2 особи. Таким образом, опираясь на отсутствие статистических различий между образцами из разных уловов, предпринятая попытка объединения двух выборок расширила представления о динамике изменения содержания ОЛ в градиенте глубин моря Ирмингера. Установлено, что для самцов и самок характерна разнонаправленная динамика накопления ОЛ при увеличении глубины, что может указывать на половые различия накопления липидов [33]. При этом, отмеченное отсутствие статистически достоверной динамики демонстрирует участие ОЛ в обеспечении надлежащих метаболических функций определенных размерно-весовых группировок во всем диапазоне глубин и независимость выбора глубины обитания, что говорит об устойчивости данного показателя при изменении глубины.

Известно, что одним из механизмов биохимической адаптации гидробионтов к обитанию на глубине, в особенности в условиях дефицита пищи является изменение набора и соотношения нейтральных липидов в теле [18; 35]. Проведение статистического анализа количественного содержания индивидуальных классов липидов в мышечной ткани особей окуня-клювача позволило установить, что особи из двух уловов хоть и достоверно различаются между собой, однако облака их дисперсий являются аналогичными с некоторыми различиями (или большим перекрытием).

Детальный фракционный анализ ОЛ позволил установить доминирование ЭХС, по сравнению с основными запасными липидами – ТАГ, в мышечной ткани самцов и самок клюворылого окуня в обоих уловах, а также сравнительно высокое содержание восков. Многофункциональные ЭХС, а также воска, благодаря своей химической структуре, могут обеспечивать организм не только необходимой энергией, но и способствовать поддержанию надлежащей плавучести [7; 22; 24; 27]. Отсутствие достоверных различий между уловами по количественному содержанию и соотношению ЭХС, восков и ТАГ указывает на устойчивую адаптационную стратегию у окуня-клювача в части поддержания надлежащей степени плавучести при осуществлении вертикальных миграций, а также преимущественного использования запасных ЭХС в качестве основного источника энергии.

Установленные достоверные различия содержания минорных МАГ и ДАГ между уловами могут быть связаны с локальными особенностями абиотических факторов среды, таких как температура и солёность. Известно, что МАГ и ДАГ являются многофункциональными молекулами и участвуют во множестве физиологических процессов и ответных клеточных реакций организма в качестве вторичных мессенджеров. По количественному содержанию МАГ и ДАГ, а также их вариациям в тканях рыб, обсуждают направленность и скорость реакций липидного обмена у разных видов рыб [30].

Выявленные различия СЖК в мышечной ткани самцов и самок двух уловов могут являться косвенным следствием различий интенсивности вертикальных миграций. Известно, что вариации содержания СЖК, совместно с накоплением восков в мышцах, являются характерным признаком вертикально-мигрирующих видов [1; 22; 27; 34]. Миграции организмов в верхние слои воды сопровождаются снижением уровня липидов (а в них – восков с вариациями уровня СЖК), что может быть связано с изменением интенсивности липолиза для поддержания сократительной функции мышц,

а также контроля типа плавучести за счет чего, вероятно, возникает некоторая «экономия» энергии [10].

Заключение

Исследование липидного профиля мышечной ткани самцов и самок окуня-клювача (*S. mentella)* из уловов 2019 и 2021 года позволило установить однородность выборки внутри изучаемых групп по содержанию ОЛ, а также индивидуальных классов липидов, что дополнило и расширило представления о динамике изменения липидных компонентов вида в градиенте глубин моря Ирмингера (Северная Атлантика). Так отсутствие достоверных различий между уловами по количественному содержанию и соотношению ЭХС, восков и ТАГ указывает на устойчивую адаптационную стратегию у окуня-клювача в части поддержания надлежащей степени плавучести при осуществлении вертикальных миграций, а также преимущественного использования запасных ЭХС в качестве основного источника энергии. В то же время различия в содержании минорных МАГ, ДАГ и СЖК между уловами указывают на вероятные вариации абиотических факторов среды (температура, солёность) в разные года, а также на различную интенсивность вертикальных миграций, связанную, преимущественно, с питанием.

Список литературы

1. *Воронин, В.П.* Липидный профиль мышечной ткани некоторых мезопелагических видов рыб семейств Stomiidae и Myctophidae с разных глубин моря Ирмингера, Северная Атлантика / В.П. Воронин, Д.В. Артеменков, А.М. Орлов, С.А. Мурзина // Вопросы ихтиологии. – 2023. – Т. 63, № 5. – С. 608–620. https://doi.org/10.31857/S004287522305017X
2. *Кабаков, Р.И.* R в действии. Анализ и визуализация данных на языке R / Р.И. Кабаков– ДМК Пресс, 2016. – 588 с.
3. *Крепс, Е.М.* Липиды клеточных мембран. Эволюция липидов мозга. Адаптационная функция липидов / Е.М. Крепс. – Л.: Наука, 1981. – 339 с.
4. *Кровнин, А.С.* Влияние изменчивости океанологических условий на окуня-клювача в пелагиали Северной Атлантики / А.С. Кровнин, С.П. Мельников, К.К. Кивва, Д.В. Артеменков, Г.П. Мурый // Труды ВНИРО. – 2017. - Т. 169. – С. 51–63.
5. *Мельников, С.П.* Океанический окунь-клювач Северной Атлантики: биология и промысел / С.П. Мельников. – Мурманск: Издательство ПИНРО, 2006. – 111 с.
6. *Немова, Н.Н.* Оценка динамики липидов в раннем развитии атлантического лосося Salmo salar / Н.Н. Немова, З.А. Нефедова, С.А. Мурзина // Труды КарНЦ РАН. – 2014. – № 5. – С. 44–52.
7. *Расс, Т.С.* Современные представления о естественной системе ныне живущих рыб / Т.С. Расс, Г.У. Линдберг // Вопросы ихтиологии. – 1971. – Т. 11, Вып. 3. – С. 380–407.
8. *Сидоров, В.С.* Экологическая биохимия рыб. Липиды / В.С. Сидоров. – Л.: Наука, 1983. – 240 с.
9. *Филина, Е.А.* Особенности репродуктивного цикла самок окуня-клювача *Sebastes mentella* (Sebastidea) / Е.А. Филина, А.Ю. Рольский, Ю.И. Бакай, В.И. Попов, Г.А. Макеенко // Вопросы Ихтиологии. – 2017. – Т. 57, № 1. – С. 89–95.
10. *Щепкина, А.М.* Особенности липидного состава у некоторых представителей массовых видов тропического зоопланктона из Атлантического и Индийского океанов / А.М. Щепкина, В.В. Трусевич, Т.Я. Павловская // Экология моря. – 1991. – Т. 38. – С. 84–88.

11. *Arts, M.T.* Health and conditions in fish: The influence of lipids on membrane competency and immune response. In Lipids in Aquatic Ecosystems / M.T. Arts, C.C. Kohler. – Springer: Heidelberg, Dordrecht; London, UK; New York, NY, USA. – 2009. – P. 237–257.

12. *Folch, J.* A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues / J. Folch, M. Lees, G.H. Sloane Stanley // J. Biol. Chem. - 1957. - Vol. 226, № 5. - P. 497-509.

13. *Hellwig, J.* Definig parameters for a reproducible TLC-separation of phospholipids using ADC / J. Hellwig – Diploma thesis, Germany, 2005.

14. *Hochachka, P.W.* Biochemical adaptation: mechanism and process in physiological evolution / P.W. Hochachka, G.N. Somero. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 2002. – 466 p.

15. Hureau, J.-C. Scorpaenidae. In Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean (FNAM) / J.-C. Hureau, N.I. Litvinenko. – UNESCO: Paris, 1986; Vol. III. – P. 1211-1229.

16. *Joensen, H.* Stock structure of Sebastes mentella in the North Atlantic revealed by chemometry of the fatty acid profile in heart tissue / H. Joensen, O. Grahl-Nielsen // ICES Journal of Marine Science. – 2004. – Vol. 61. – P. 113-126. https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.10.002

17. *Karl, H.* Variability of fat, water and protein content in the flesh of beaked redfish (*Sebastes mentella*) and Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) from arctic fishing grounds / H. Karl, J. Numata, M. Lahrssen-Wiederholt // Journal of Consumer Protection and Food Safety. – 2018. – Vol. 13. – P. 383-389. https://doi.org/10.1007/s00003-018-1160-2

18. *Lee, R.F.* Importance of wax esters and other lipids in the marine food chain: phytoplankton and copepods / R.F. Lee, J.C. Nevenzel, G.-A. Paffenhöfer // Mar Biol. – 1971. – Vol. 9, № 2. – P. 99–108. https://doi.org/10.1007/BF00348249

19. *Macdonald, A.* Life at high pressure / A. Macdonald – Cham: Springer, 2021. – 445 p.

20. *Murzina, S.A.* Comparative analysis of lipids and fatty acids in beaked redfish *Sebastes mentella* Travin, 1951 collected in wild and in commercial products / S.A. Murzina, V.P. Voronin, T.R. Ruokolainen, D.V. Artemenkov, A.M. Orlov // J. Mar. Sci. Eng. – 2022. – Vol. 10, № 1. – Article ID. 59. https://doi.org/10.3390/jmse10010059

21. *Murzina, S.A.* Tiny but fatty: lipids and fatty acids in the daubed shanny (*Leptoclinus maculatus*), a small fish in Svalbard waters / S.A. Murzina, S.N. Pekkoeva, E.A. Kondakova, Z.A. Nefedova, K.A. Filippova, N.N. Nemova, A.M. Orlov, J. Berge, S. Falk-Petersen // Biomolecules. – 2020. – Vol. 10, № 3. – Article ID 368. https://doi.org/10.3390/biom10030368

22. *Neighbors, M.A.* Triacylglycerols and wax esters in the lipids of deep midwater teleost fishes of the Southern California Bright / M.A. Neighbors // Marine Biology. – 1988. - Vol 98. – P. 15-22. https://doi.org/10.1007/BF00392654

23. *Olsen, R.E.* The rapid analysis of neutral and polar marine lipids using double-development HPTLC and scanning densitometry / R.E. Olsen, R.J. Henderson // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1989. – Vol. 129. – P. 189-197. https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90056-7

24. *Ozdemir, N.S.* Neutral and polar lipid fatty acids in five families of demersal and pelagic fish from the deep Northwest Atlantic / N.S. Ozdemir, C.C. Parrish, C. Parzanini, A. Mercier // ICES Journal of Marine Science. – 2019. – Vol. 76, № 6. – P. 1807-1815. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz054

25. *Petursdottir, H.* Lipid classes and fatty acid composition of muscle, liver and skull oil in deep-sea redfish *Sebastes mentella* over the Reykjanes Ridge / H. Petursdottir, A. Gislason, S. Falk-Petersen // Journal of Fish Biology. – 2008. – Vol. 73. – P. 2485-2496. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02100.x

26. *Petursdottir, H.* Trophic interaction of the pelagic ecosystem over the Reykjanes Ridge as evaluated by fatty acid and stable isotope analyses / H. Petursdottir, A. Gislason, S. Falk-Petersen, H. Hop, J. Svavarsson // Deep-Sea Research. Part II. – 2008. – Vol. 55. – P. 83-93. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2007.09.003

27. *Phleger, C.F.* Wax esters versus triacylglycerols in myctophid fishes from the Southern Ocean / C.F. Phleger, M.M. Nelson, B.D. Mooney, P.D. Nichols // Antarctic Science. – 1999. – Vol. 11, № 4. – P. 436-444. https://doi.org/10.1017/S0954102099000565

28. *Planque, B.* Monitoring beaked redfish (*Sebastes mentella*) in the North Atlantic, current challenges and future prospects / B. Planque, K. Kristinsson, A. Astakhov, M. Bernreuther, E. Bethke, K. Drevetnyak, K. Nedreaas, J. Reinert, A. Rolskiy, T. Sigurdsson, Ch. Stransky // Aquat. Living Resour. – 2013. – Vol. 26. – P. 293-306. https://doi.org/10.1051/alr/2013062

29. *Saborido-Rey, F.* Review of the population structure and ecology of *S. mentella* in the Irminger sea and adjacent waters / F. Saborido-Rey, D. Garabana, C. Stransky, S. Melnikov, V. Shibanov // Rev. Fish. Biol. Fish. – 2004. – Vol. 14. – P. 455-479. https://doi.org/10.1007/s11160-005-3585-9

30. *Sandel, E.* The effect of dietary phosphatidylcholine/phosphatidylinositol ratio on malformation in larvae and juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*) / E. Sandel, O. Nixon, S. Lutzky, B. Ginsbourg, A. Tandler, Z. Uni, W. Koven // Aquaculture. – 2010. – Vol. 304. – P. 42–48. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.013

31. *Tocher, D.R.* Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish / D.R. Tocher // Reviews in Fisheries Science. – 2003. – Vol. 11. – P. 107–184. https://doi.org/10.1080/713610925

32. *Tocher, D.R.* Polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation and the effects of dietary linseed and rapeseed oils / D.R. Tocher, J.G. Bell, J.R. Dick, R.J. Henderson, F. McGhee, D. Michell, P.C. Morris // Fish Physiol. Biochem. – 2000. – Vol. 23, № 1. – P. 59–73. https://doi.org/10.1023/A:1007807201093

33. *Voronin, V.P.* Into the deep: new data on the lipid and fatty acid profile of redfish Sebastes mentella inhabiting different depths in the Irminger Sea / V.P. Voronin, N.N. Nemova, T.R. Ruokolainen, D.V. Artemenkov, A.Y. Rolskii, A.M. Orlov, S.A. Murzina // Biomolecules. – 2021. – Vol. 11, № 5. – Article ID. 704. https://doi.org/10.3390/biom11050704

34. *Voronin, V.P.* Lipids and fatty acids in some mesopelagic fish species: general characteristics and peculiarities of adaptive response to deep-water habitat / V.P. Voronin, D.V. Artemenkov, A.M. Orlov, S.A. Murzina // J. Mar. Sci. Eng. – 2022. – Vol. 10, № 7. – Article 949. https://doi.org/10.3390/jmse10070949

35. *Wang, F.* Trophic Interactions of Mesopelagic Fishes in the South China Sea Illustrated by Stable Isotopes and Fatty Acids / F. Wang, Y. Wu, G. Zhang, J. Zhang, S. Zheng, G. Kattner // Frontiers in Marine Science. – 2019. – Vol. 5. – Article ID. 522. https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00522

36. *Winnikoff, J.R.* Depth-and temperature-specific fatty acid adaptations in ctenophores from extreme habitats / J.R. Winnikoff, S.H. Haddock, I. Budin // J. Exp. Biol. – 2021. – Vol. 224, № 21. – Article jeb242800. https://doi.org/10.1242/jeb.242800

УДК 574.584

ДЕВЯТИИГЛАЯ КОЛЮШКА PUNGITIUS PUNGITIUS L. В БЕЛОМ МОРЕ: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПИЩЕВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ С ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКОЙ GASTEROSTEUS ACULEATUS L.

М.В. Иванов [1], Т.С. Иванова [1], А.С. Генельт-Яновская [2], Е.А. Генельт-Яновский [2], М.А. Медведева [1], Е.В. Надточий [1], Н.В. Полякова [1], К.В. Боева [1], Д.Л. Лайус [1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, ivmisha@gmail.com

[2] Экстерский университет, Пенрин кампус, Корнуолл, Великобритания.

Аннотация. Исследование посвящено девятииглой колюшке *Pungitius pungitius* L. Белого моря. Особенности жизненного цикла, биологии, количественного распределения этого вида, особенно морских популяций, изучены совершенно недостаточно. В работе оценено пространственное распределение девятииглых колюшек в летний период в сравнении с распределением трехиглой колюшки. Показана их приуроченность к полуизолированным морским акваториям – лагунам разных размеров. Также показано, что даже в этих акваториях численность девятииглых колюшек на два порядка меньше, чем численность трехиглых. Таким образом, нерест девятииглых колюшек в Белом море всегда протекает в условиях подавляющего превосходства трехиглых колюшек по численности. Приведены данные по многолетней динамике численности, и показано резкое снижение обилия девятииглых колюшек после 2017 г. Рассчитано аллометрическое уравнение девятииглых колюшек и описана их размерная структура. Оценены пищевые спектры девятииглой и трехиглой колюшек и показаны сходство и особенности питания двух видов. Величина индекса перекрывания пищевых ниш Пианки – 0,11 демонстрирует низкую пищевую конкуренцию между этими двумя видами, но это происходит почти исключительно из-за очень сильного каннибализма трехиглых колюшек (питание собственной икрой составляет 90%). Девятииглая колюшка икрой практически не питается. В целом, наше исследование показывает, что девятииглая колюшка Белого моря, по крайней мере, в летний период, находится в условиях тесного взаимодействия с трехиглой колюшкой, и, по-видимому, воздействие этого вида на нее имеет негативный эффект.

Ключевые слова: Белое море, девятииглая колюшка, Pungitius pungitius, трехиглая колюшка, Gasterosteus aculeatus, конкуренция, прибрежные ихтиоценозы, динамика численности, пространственное распределение, пищевой спектр.

NINE-SPINED STICKLEBACK PUNGITIUS PUNGITIUS L. IN THE WHITE SEA: LONG-TERM DYNAMICS OF ABUNDANCE, SPATIAL DISTRIBUTION, POPULATION CHARACTERISTICS AND TROPHIC RELATIONSHIPS WITH THREE-SPINED STICKLEBACK GASTEROSTEUS ACULEATUS L.

M.V. Ivanov[1], T.S. Ivanova, A.S. Genelt-Yanovskaya, E.A. Genelt-Yanovskiy, M.A. Medvedeva[1], E.V. Nadtochii[1], N.V. Polyakova[1], K.V. Boeva[1], D.L. Lajus[1]

[1] St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, ivmisha@gmail.com

[2] University of Exeter, Penrhyn Campus, Cornwall, United Kingdom

Summary. In this study, several population characteristics of Pungitius pungitius L. are described in coastal habitats along the White Sea coast. Currently, few studies have been

conducted on the life history of this species and its abundance distribution, especially in marine populations. With specific reference to semi-isolated marine lagoons, this paper compares the distribution of nine-spined sticklebacks to three-spined sticklebacks during summer. In the White Sea, the spawning of nine-spined sticklebacks always takes place in conditions of overwhelming dominance by three-spined sticklebacks. In marine habitats, nine-spined stickleback abundance is two orders of magnitude lower than three-spined stickleback abundance. We have documented a sharp decline in the abundance of nine-spined sticklebacks in the White Sea during the last decade of observations. Allometric growth equations and size structures are described for nine-spined sticklebacks. The food spectra of nine-spined stickleback and three-spined stickleback were evaluated and the similarities and feeding patterns of the two species were shown. Pianica's food niche overlap index value of 0.11 demonstrates low food competition between the two species, but this is almost exclusively due to the very strong cannibalism of three-spined sticklebacks (90% feeding on their own eggs). Nine-spined stickleback generally does not feed on eggs. In general, our study shows that the nine-spined stickleback of the White Sea, at least in summer, is in close interaction with the three-spined stickleback, and, apparently, the impact of this species on it has a negative effect.
Keywords: White Sea, ninespine stickleback, Pungitius pungitius, threespined stickleback, Gasterosteus aculeatus, competition, coastal fish, population dynamics, spatial distribution, diet.

Девятииглая колюшка Pungitius pungitius – циркумарктический широкоареальный вид рыб, населяющий морские и пресноводные местообитания [19-20; 18]. P. pungitius является модельныи объектом целого ряда эволюционных исследований, направленных на оценку роли адаптивной изменчивости в отдельных морских и пресноводных местообитаниях [16; 13; 17; 6].

Данные об особенностях жизненного цикла, биологии, количественном распределении этого вида можно считать скорее фрагментарными, чем систематическими по сравнению со значительно изученным вторым представителем семейства Gasterosteidae трехиглой колюшкой *Gastrosteus aculeatus* - несмотря на то, что оба вида часто встречаются симпатрически. Тем не менее, наряду с повышенным вниманием к девятииглой колюшке как объекту геномных исследований, накапливаются новые данные по популяционным характеристикам этих рыб из различных местообитаний и частей ареала. Так, детальное описание размерной структуры и нерестовых характеристик было проведено в озерно-речных системах Аляски [8]. Исследование девятииглой колюшки в одном из Карельских озер и эстуарии реки Невы показало особенности питания данного вида рыб в пресноводных и солоноватоводных местообитаниях [2].

Цель данного исследования – количественно оценить пространственное распределение, популяционные характеристики и особенности питания морской девятииглой колюшки в прибрежных районах Кандалакшского залива Белого моря, а также попытаться описать возможное взаимодействие между двумя видами колюшек в нерестовый период. В настоящее время трехиглая колюшка в Белом море находится на пике численности [11], поэтому конкурентные взаимоотношения между близкородственными видами, занимающими сходную нишу, могут быть наиболее заметны.

Материалы и методы

Лов массовых прибрежных рыб, в том числе и девятииглой колюшки осуществляли мальковым равнокрылым неводом (7,5 м длиной, площадь облова 120 м^2).

Для оценки встречаемости девятииглой колюшки проанализировали результаты примерно 500 ловов неводом, как в окрестностях биостанции СПбГУ, так и в двух экспедициях по всему Белому морю (2010-2011 и 2018-2019 гг.).

Для более детального описания распределения девятииглой колюшки в 2022 г. подробно изучали четыре полуизолированные акватории (лагуны: Колюшковая N 66.313593, E 33.644527; Вонючая N 66.274730, E 33.256116; Воронья N 66.201043, E 34.154380; Кив N 66.406204, E 33.617694), с гидрологическим режимом отличным от соседних морских акваторий. Количественное распределение колюшковых рыб в каждой акватории описывали тремя прибрежными станциями: одна располагалась в самой лагуне, вторая со стороны моря максимально близко к проливу в лагуну, третья на расстоянии 200-300 м от пролива в лагуну служила контрольной точкой. Также в качестве оценки распределения девятииглой колюшки в стандартном благоприятном биотопе для нереста трехиглой колюшки – зарослях зостеры, была использована губа Сельдяная (N 66.337630, E 33.624316), а для описания распределения во второстепенном для нереста биотопе (заросли фукоидов) – станция расположенная примерно в 0,5 км от губы Сельдяная (N 66.334485, E 33.611277).

Для оценки влияния масштаба акватории в 2022 г. также изучили распределение девятииглой колюшки в крупной (более 50 км^2) полуизолированной морской акватории – Бабье море (примерно центр – N 66.604697, E 33.177021). Оценили количественное распределение колюшек на 15 станций внутри акватории и в море перед проливом.

Для описания подхода колюшек на нерест и отхода после, мы оценивали численности колюшек на расположенных вне прибрежья – пелагических станциях. Одна пелагическая станция располагалась в открытой части Кандалакшского залива (N 66.433521, E 34.095753), вторая на входе в губу Чупа (N 66.369589, E 33.856513), третья (N 66.328633, E 33.653190) рядом со станциями, характеризующими зостерный и фукоидный нерестовые биотопы. Количественный лов в пелагиали осуществляли небольшим близнецовым тралом.

Для оценки возможных мест зимовки девятииглых колюшек в марте 2022 г. проводили ловы в полуизолированных водоемах (лагуна Колюшковая) и кутовых частях длинных губ в которые впадали реки и ручьи (эстуарии реки Кереть, реки Летняя и ручья Никольский), а в марте 2023 в Бабьем море. Лов производили подо льдом ловушками с прикормкой (хорошо зарекомендовавшими себя при лове колюшковых рыб).

Многолетнюю динамику численности девятииглой колюшки изучали на примере двух акваторий с наиболее длинными рядами наблюдений и практически постоянной встречаемостью девятииглой колюшки: лагуна Колюшковая (2010-2022 гг.) и губа Сельдяная (2009-2022 гг.).

Для оценки возможной пищевой конкуренции между девятииглыми и трехиглыми колюшками в июне 2022 г. в лагуне Вонючая были собраны выборки рыб обоих видов (11 и 36 шт. соответственно). Сразу после поимки рыб фиксировали 4% формалином, в дальнейшем в лаборатории анализировали содержимое желудков.

Для описания пищевой конкуренции использовали индекс перекрывания ниш Пианки [15], который рассчитывали по формуле 1.

$$O_{jk} = \frac{\sum_i^n p_{ij} p_{ik}}{\sqrt{\sum_i^n p_{ij}^2 \sum_i^n p_{ik}^2}}, (1)$$

где pij – доля таксона i в питании рыбы j, pik – доля таксона i в питании рыбы k, n – общее число таксонов.

Статистическую обработку данных проводили с использование программы Past 4. Использовали критерий Стьюдента, анализ ANOSIM. В тексте и на иллюстрациях средние значения приведены со стандартной ошибкой.

Результаты

Многолетняя встречаемость. Исследуя встречаемость девятииглых колюшек в прибрежных биотопах в окрестностях биостанции СПбГУ на Белом море за период с 2009 по 2021 гг. мы обнаружили, что с этой точки зрения все места пробоотбора распадаются на три группы:

Первая, где девятииглые колюшки обнаружены небыли никогда. Как правило, это станции расположенные в скалистых и каменистых прибрежных биотопах, часто с хорошим развитием фукусовых водорослей. Для трехиглой колюшки это не самые любимые нерестовые битопы, тем не менее, в них она нерестится, и ее численность в июне во время нереста составляет 5-15 экз./м^2. Но, ни для нереста, ни для нагула девятииглой колюшки эти биотопы, по-видимому, не подходят.

Вторая группа, где девятииглые колюшки постоянно встречались, но только во второй половине лета, начиная с середины июля. Особенностью данной группы станций является то, что практически все они расположены в кутах бухт и заливов различных размеров, характеризуются ослабленной гидродинамикой, илистым или илисто-песчаным грунтом и наличием зарослей морской травы Zostera marina. Это самые благоприятные места для нереста трехиглой колюшки и ее численность здесь может достигать более 100 экз./м^2.

Третья группа, представлена всего одной акваторией – лагуной Колюшковая, где девятииглые колюшки встречались постоянно в течение всего лета. Это полуизолированная акватория, отделенная от моря порогом, из-за которого водообмен в лагуне происходит только в сизигийные приливы. Только в этой лагуне, на протяжении всех лет исследований мы встречали девятииглых колюшек в июне - в период их нереста.

Анализ данных наших экспедиций вдоль побережья Белого моря, подтверждает эти выводы. Все места, где в уловах встречали девятииглую колюшку, расположены довольно далеко в кутовых частях длинных губ. Наибольшие численности девятииглой колюшки были нами встречены в Унской губе (Онежский полуостров) и в заливах Соловецких островов. Так как обе экспедиции проходили в июне, то по этим данным нет возможности сказать, как распределяется девятииглая колюшка во второй половине лета.

Для подтверждения таких закономерностей распределения девятииглой колюшки в 2022 г. мы исследовали несколько полуизолированных водоемов и их окрестности.

Динамика подхода девятииглой и трехиглой колюшки в Белом море на нерест в 2022 г. Еще 29-30 мая ни девятииглой, ни трехиглой колюшки не было ни на пелагических станциях, ни на прибрежных. Впервые трехиглые колюшки появились на самой мористой пелагической станции в относительно больших количествах (0,03 экз./м^2) 4 июня. На пелагической станции расположенной на входе в губу Чупа в этот момент колюшки были пойманы единично (0,002 экз./м^2). В глубине губы в пелагиали и в прибрежье их еще не было. С 6 июня колюшки начали попадаться у берегов, а в пелагиали численности в Кандалакшском заливе и в губе Чупа выровнялись примерно на 0,3 экз./м^2. К 10 июня колюшки в основном распределились по нерестилищам, в пелагиали губы их численность достигла 0,6 экз./м^2, а в открытой части Кандалакшского залива она практически исчезла (0,009 экз./м^2). Девятииглая колюшка появилась в местах нереста одновременно с трехиглой, т.е. динамика их подхода на нерест примерно одинаковая.

Пространственное количественное распределение девятииглой колюшки во время нереста. Основная масса девятииглой колюшки для нереста зашла в полуизолированные акватории (лагуны), рис. 1. Здесь их численность в середине нереста в среднем составила 0,16±0,07 экз./м^2, максимальную численность наблюдали в

лагуне Воронья - 0,35 экз./м^2. В море девятииглые колюшки встречались рядом с проливами в лагуны, но в гораздо меньшем количестве - 0,026±0,011 экз./м^2. Уже на расстоянии 200-300 метров от проливов в лагуны на нерестилищах в зарослях фукоидов девятииглые колюшки обнаружены не были. Также мы не встретили их в губе Сельдяная на нерестилище в зарослях зостеры. Трехиглая колюшка в больших количествах встречалась на всех исследованных нерестилищах, рис. 1, закономерно, больше всего ее было в зарослях зостеры. Надо отметить, что и в лагунах, несмотря на самое высокое обилие девятииглой колюшки, численность трехиглой колюшки превосходит девятииглую почти на два порядка. В среднем доля девятииглых колюшек в лагунах составляет 1,6±0,6%, колеблясь от 0,5% до 3%. У проливов в лагуны эти цифры еще меньше - 0,3±0,1% (0,1-0,7%).

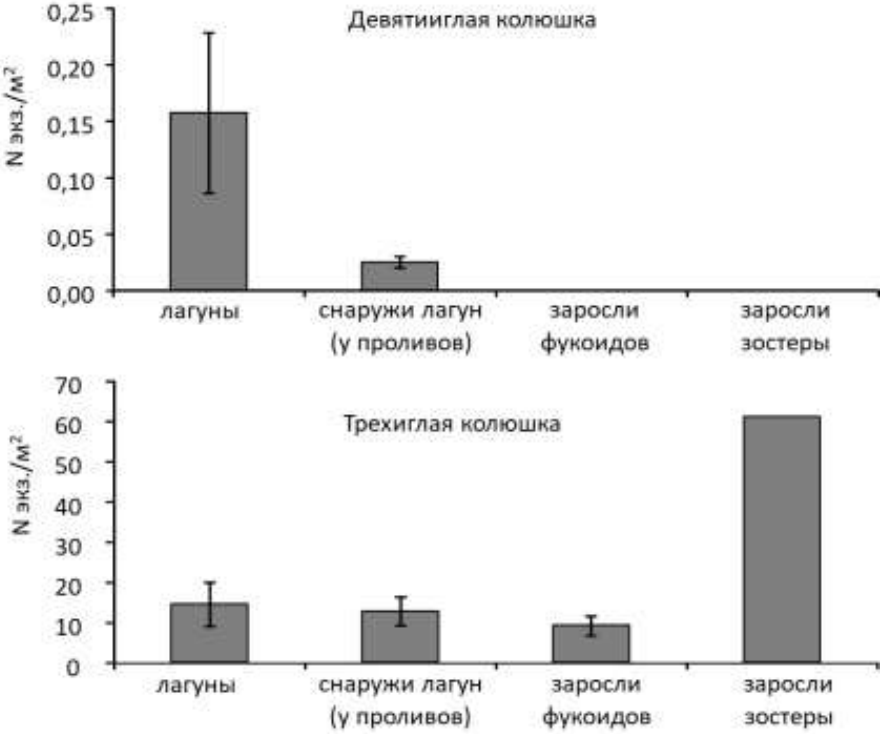


Рис. 1. Количественное распределение девятииглых и трехиглых колюшек по разным нерестовым биотопам в прибрежье Белого моря.

Пространственное количественное распределение девятииглой колюшки в заливе Бабье море. Бабье море большая (примерно 8 на 6 км) акватория соединяющаяся с Белым морем двумя узкими проливами. Важным для водообмена является один – юго-западный пролив. Из за узкости проливов прилив не успевает полностью войти в Бабье море и максимальные амплитуды приливов-отливов составляют около 40 см. В этой полуизолированной акватории мы исследовали пространственное распределение девятииглой колюшки во время нереста. Картирование показало, что в Бабьем море преобладают два типа прибрежных биотопов: прибойный, каменистый, с хорошим развитием фукоидов и затишной, с обширными илисто-песчаными мелководьями, практически лишенными растительности. В илисто-песчаном биотопе девятииглые и трехиглые колюшки практически не встречались, рис. 2. Весь нерест протекал в зарослях фукоидов. Основной закономерностью количественного распределения трехиглой колюшки оказалось достоверное убывание численности в фукоидах от моря - примерно 15 экз/м^2 (стандартно для такого биотопа в Кандалакшском заливе), до примерно 5 экз./м^2 в Бабьем море у юго-западного пролива и, наконец, до 0,8 экз./м^2 в северной части акватории. Девятииглая колюшка самые большие численности имеет внутри Бабьего моря около пролива, до 0,3 экз./м^2. В северном конце акватории и

снаружи в море наблюдали тенденцию к уменьшению численности (0,01-0,08 экз/м^2), но из-за большого разброса численности на станциях у пролива достоверно это уменьшение показать не удалось. Из-за уменьшения численности трехиглой колюшки к дальней (северной) части Бабьего моря, там возрастает значимость девятииглой колюшки, от 1-4% на станциях у пролива, до 2-7% (на одной 25%) на северных станциях.

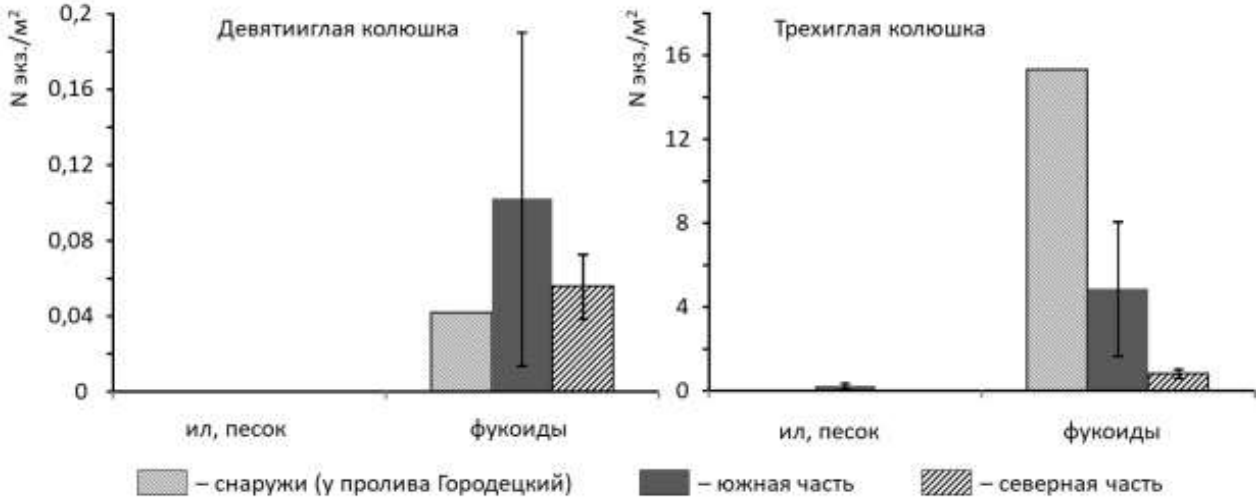


Рис. 2. Количественное распределение девятииглых и трехиглых колюшек в Бабьем море.

Пространственное количественное распределение девятииглой колюшки во второй половине лета. После нереста вся взрослая трехиглая колюшка и часть взрослой девятииглой колюшки покидает прибрежье. Распределение мальков девятииглой колюшки подчиняется той же закономерности, что и взрослых. Основная масса мальков находится в лагунах, где достигает численности 0,3-0,4 экз./м^2, в лагуне Вонючая также были обнаружены в небольших количествах взрослые девятииглые колюшки - 0,2 экз./м^2. Кроме того, молодь девятииглой колюшки встречается в море у проливов из лагун, но в гораздо меньших количествах 0,03-0,05 экз./м^2. Ни в зарослях зостеры, ни в зарослях фукоидов во второй половине лета 2022 г. молоди девятииглой колюшки не обнаружили. Молодь трехиглой колюшки напротив держится в основном в зарослях зостеры, 40-60 экз./м^2. В лагунах молодь трехиглых колюшек также встречается (1-2 экз./м^2), и ее больше чем молоди девятииглой, но эта диспропорция не такая сильная как у взрослых рыб. Молодь девятииглой в лагунах составляет около 20%. В пелагиали, видимо ввиду относительной малочисленности, девятииглые колюшки попадаются редко. В конце августа взрослые девятииглые колюшки единично попадались в пелагиали губы Чупа и относительно стабильно в открытой части Кандалакшского залива, примерно 0,01 экз./м^2. С сентября в пелагических пробах девятииглая колюшка отсутствовала.

Пространственное распределение девятииглой колюшки в зимний период. Что бы проверить, остается ли девятииглая колюшка зимовать в местах нереста и летнего нагула мы ловили ее в марте подо льдом. В лагуне Колюшковая в течение двух суток в ловушки была поймана достаточная выборка (больше 30 шт.) девятииглой колюшки и лов прекратили. В эстуариях рек и ручьев несмотря на многосуточную экспозицию ловушек не поймали ни одной девятииглой колюшки. Также зимой не удалось поймать девятииглых колюшек в Бабьем море. Таким образом, можно предположить, что в прибрежье на зимовку девятииглая колюшка остается только в полуизолированных водоемах с затрудненным водообменом с морем. Из остальных мест летнего нереста и нагула она, по-видимому, мигрирует в открытое море.

Основные размерные характеристики девятииглой колюшки. На основе длин и весов изученной девятииглой колюшки было построено аллометрическое уравнение: $W = 0{,}00118*SL^{3,53}$, где W - вес в мг, SL - стандартная длина в мм.

В июне на нерестилищах присутствуют только взрослые половозрелые девятииглые колюшки. Средний размер рыб 38±0,7 мм, при размахе варьирования от 24 до 64 мм. Размерное распределение одномодальное, рис. 3, с выраженной правой асимметрией (As = 0,72±0,22), что скорее

всего указывает на наличие нескольких возрастных групп. По итогам двухфакторного дисперсионного анализа (1 фактор – разные лагуны, 2 фактор – расположение станции внутри лагуны или снаружи у пролива) нет достоверных различий между лагунами и также проливами рядом по размерам девятииглой колюшки. В августе размерное распределение девятииглой колюшки в лагунах оказывается бимодальным, рис. 3. Меньшая размерная группа от 10 до 27 мм (в среднем 17,7±1,3 мм) составляет 72% и соответствует сеголеткам. Размеры молоди не различаются достоверно между разными лагунами. Размерная группа от 34 до 42 мм (средняя 39±1,0 мм) это взрослые рыбы. Их размеры не отличаются достоверно от июньских. Эти взрослые рыбы были обнаружены только в лагуне Вонючая, около 40% от всех девятииглых колюшек в лагуне. Также в конце августа небольшое количество взрослых девятииглых колюшек было поймано в открытой части Кандалакшского залива. Их размеры от 33 до 63 мм (средняя 49 + 1,9 мм). В среднем эти рыбы крупнее, чем взрослые особи в лагунах как в августе, так и в июне, однако объем этой выборки слишком мал, что бы строить на этом обоснованные предположения.

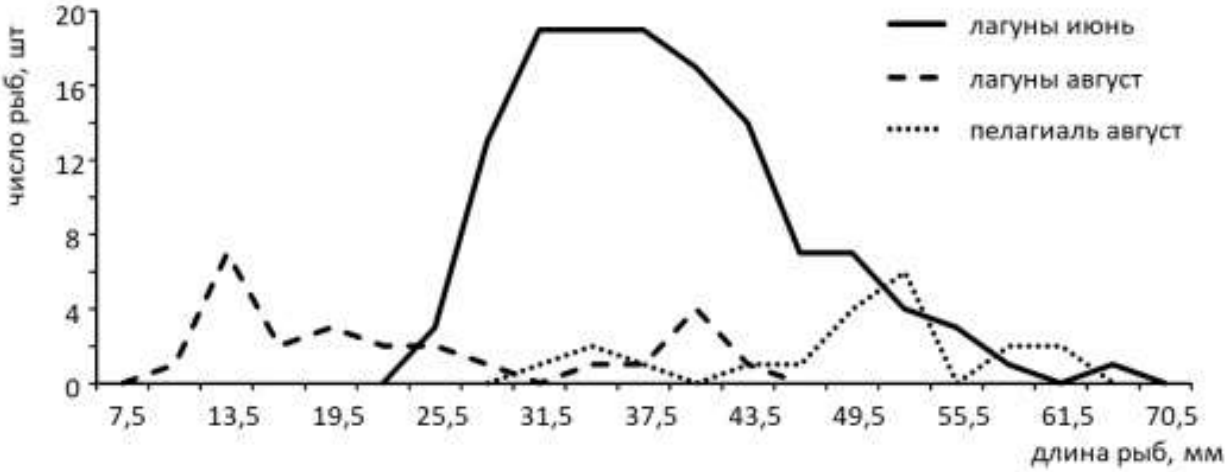


Рис. 3. Размерное распределение девятииглых колюшек в течение лета в разных биотопах.

Многолетняя динамика численности девятииглой колюшки. В лагуне Колюшковая девятииглая колюшка встречается в течение всего летнего сезона с мая по сентябрь и не имеет выраженного сезонного тренда (нет достоверных отличий между средними численностями за месяц), рис. 4А, поэтому среднюю численность для оценки многолетней динамики, рис. 4В, вычисляли за все три летних месяца. В губе Сельдяная девятииглая колюшка появляется во второй половине лета, рис. 4С, на нагул после нереста, и максимальных численностей достигает в августе. Средние численности за три летних месяца в этой акватории достоверно различаются (t-критерий, все $p<0{,}05$). Поэтому численность для оценки многолетней динамики в этой губе использовали среднюю за август. Обращает на себя внимание резкое снижение численности девятииглых колюшек в обеих акваториях начиная с 2017 г., рис. 4B,D. Средняя численность до этого года, более чем на порядок выше, чем в последующий период, и в лагуне Колюшковая и в губе Сельдяная (0,61±0,15 и 0,13±0,02 экз./м^2 против 0,04±0,01

и 0,01±0,008 экз./м^2 соответственно). Различия достоверны в обоих случаях (t-критерий, все p<0,05).

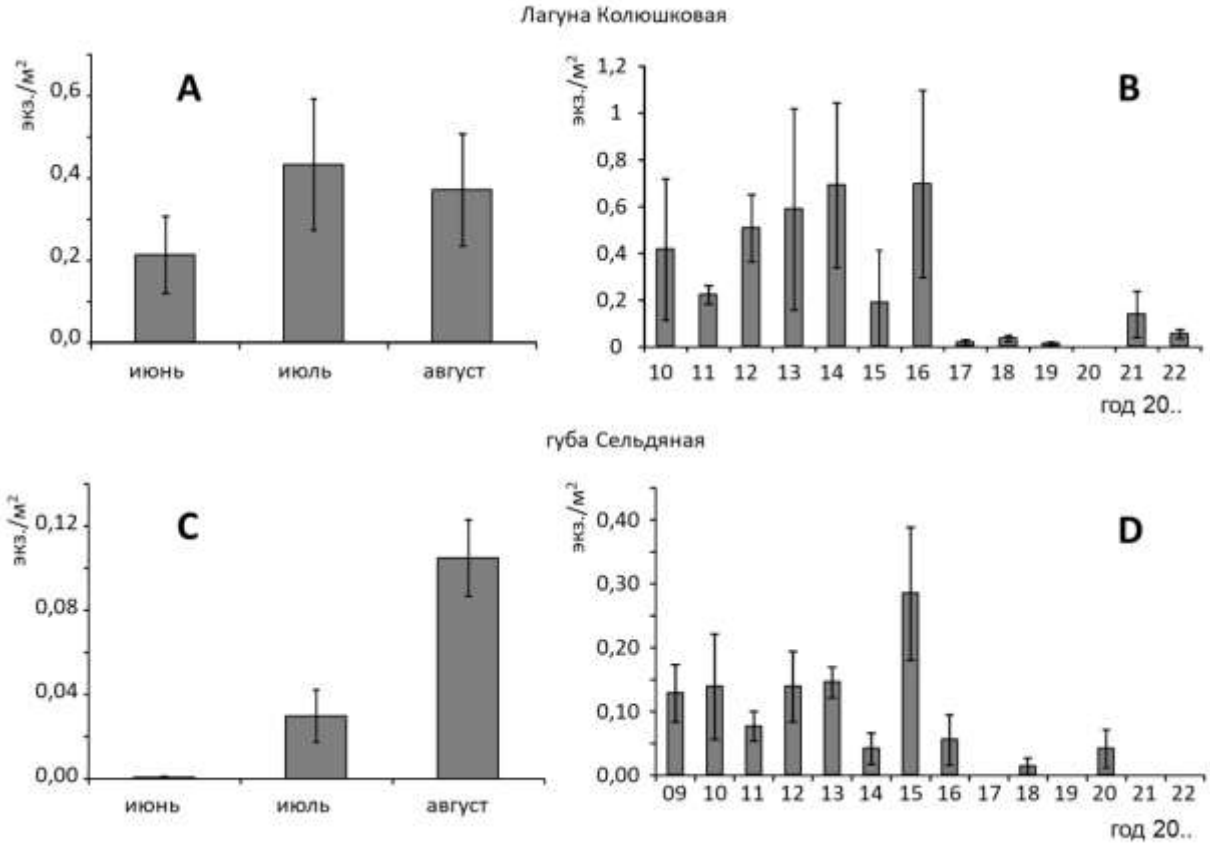


Рис. 4. Сезонная и многолетняя динамика численности девятииглых колюшек

Сравнение спектров питания девятииглой и трехиглой колюшек. Доля пустых желудков составляет 20 - 35% и у двух видов различается недостоверно (t-критерий, p = 0,34). Спектры питания обоих видов представлены следующими основными компонентами, рис. 5:

1) Икра колюшки. Скорее всего, это икра трехиглых колюшек, но возможно, есть и девятииглых. Различить ее в желудках не представляется возможным. У трехиглой колюшки икра составляет 90% от спектра (по биомассе), у девятииглой икра представлена в спектре питания существенно меньше и составляет 4%.

2) Бентосные организмы. Играют существенную роль в питании девятииглой колюшки, составляя 85% от спектра. Это ракообразные Isopoda и Amphipoda (44 и 26% соответственно) и в меньшей степени личинки Chironomidae (6%). Изредка встречаются Gastropoda и Polychaeta.

У трехиглой колюшки бентосные организмы представлены теми же группами, но составляют существенно меньшую долю от спектра питания (суммарно 7%).

3) Планктонные организмы в питании обоих видов представлены в основном Microcitella sp., Temora sp., Podon sp. У трехиглой колюшки доля планктонных организмов в спектре питания составляет 2% и сопоставима с бентосной компонентой. Девятииглые колюшки планктоном практически не питаются, его доля в спектре составляет всего 0,5%.

4) Воздушные насекомые. Играют существенную роль в питании девятииглой колюшки. Встречаются у половины рыб и составляют в среднем 10% спектра. У трехиглой колюшки воздушные насекомые в питании обнаружены не были.

Сравнение спектров питания анализом ANOSIM показало достоверные различия (p = 0,0018). Индекс перекрытия ниш Пианки составляет всего 0,11. Если исключить

икру и посчитать индекс на оставшейся части спектра, то перекрывание спектров составит 0,82.

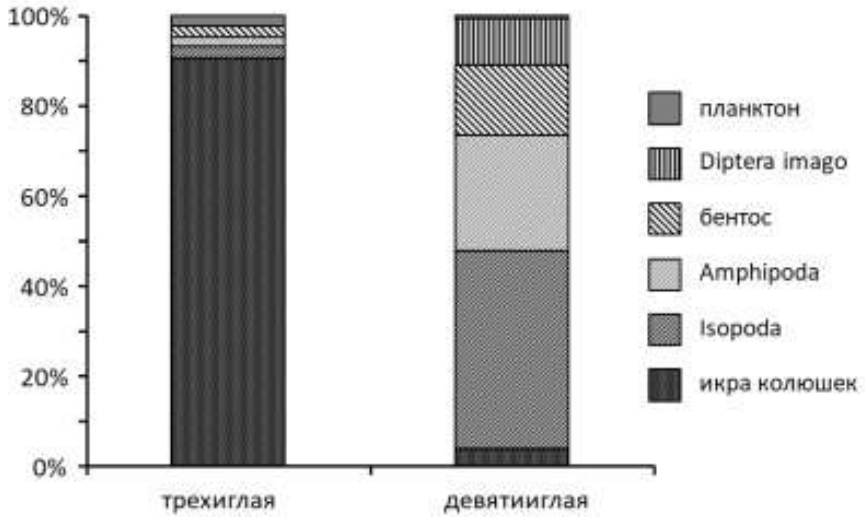


Рис. 5. Пищевые спектры по биомассе двух видов колюшек.

Обсуждение

На современном этапе, когда трехиглые колюшки в Белом море занимают для нереста все доступные морские биотопы [10-11], гораздо менее многочисленные девятииглые колюшки должны испытывать серьезное воздействие с их стороны. Наше исследование показывает, что в то время, как трехиглая колюшка использует для нереста все возможные биотопы в море, девятииглая колюшка нерестится почти исключительно в полуизолированных акваториях. Из-за затрудненности связи с морем в таких лагунах может образовываться комплекс условий благоприятных для нереста колюшек и выживания их молоди. Это и летняя повышенная температура, и массовое развитие нитчатых водорослей, и отсутствие или меньшее количество хищников, и своеобразная кормовая база (наши неопубликованные данные). Тем не менее, даже в этих акваториях девятииглые колюшки составляют проценты от численности трехиглых. Можно предположить, что такое соседство действует на девятииглых колюшек угнетающе. В пресноводных водоемах было показано, при отсутствии трехиглой колюшки продолжительность жизни и скорость роста особей девятииглой колюшки увеличиваются, также в ходе

экспериментов было показано, что особи, изъятые из водоемов с пониженной межвидовой конкуренцией, демонстрируют более высокую скорость роста [9]. К сожалению, отсутствуют данные о количественном распределении девятииглых колюшек в Белом море в 1960-80 гг., когда трехиглые колюшки практически отсутствовали в море.

Интересно, что мы никогда не встречали девятииглую колюшку в первой половине лета в зарослях зостеры – самом благоприятном нерестилище для трехиглой колюшки. Здесь средняя численность нерестящихся трехиглых колюшек составляет около 100 экз./м^2, а в максимуме достигает и больше 200 экз./м^2 [11]. По-видимому, при такой конкуренции за нерестилища девятииглая колюшка нереститься не может. Для Балтийского моря также отмечено, что девятииглая колюшка предпочитает участки с более плотными зарослями водорослей или морских трав, возможно, это сравнимо с зарослями нитчатки в лагунах Белого моря, а максимальная численность нерестящейся трехиглой колюшки в Балтике отмечается тоже в зарослях Z.marina, но она достигает высокого обилия и в других прибрежных биотопах [7; 3].

То, что девятииглая колюшка охотно нерестилась бы в зарослях зостеры, не будь там огромного количества трехиглой колюшки, косвенно доказывает факт частой

встречи P. pungitius в этом биотопе во второй половине лета. К этому времени взрослая трехиглая колюшка покидает прибрежье, и, по-видимому, девятииглая колюшка занимает эти благоприятные места для нагула после нереста.

Интересен факт достоверного снижения численности девятииглой колюшки с 2017 г. Возможно это случайность, возможно совпадение нескольких неблагоприятных для девятииглой колюшки факторов, но, как одно из объяснений, это может быть накопившийся эффект негативного воздействия чрезвычайно большой численности вида конкурента и за нерестилище и за пищу.

Для Балтийского моря отмечают, что девятииглая колюшка является типично прибрежным видом, в отличие от трехиглой [4]. Для Белого моря этот тезис не столь однозначен, поскольку, хотя взрослая девятииглая колюшка и задерживается в прибрежье на вторую половину лета, но к сентябрю полностью отходит от берегов, нет ее у берега и зимой (в марте), и в конце мая, перед нерестом. Она приходит на нерест из открытого моря, одновременно с трехиглой колюшкой. Возможно, это связано с сильным охлаждением прибрежных вод Белого моря.

Исходя из наших данных, девятииглые и трехиглые колюшки на нерестилищах питаются неодинаково. Индекс перекрытия трофических ниш Пианки составляет всего 0,11. Перекрытие ниш и возможная конкуренция считаются биологически значимой в случаях, когда значения индекса Пианки было больше 0.6 [21]. В целом, чем выше его значение, тем больше потенциальная конкуренция между видами [14]. В нашем случае перекрытие очень небольшое и, соответственно, можно говорить о низкой трофической конкуренции между двумя видами колюшек. Основная причина этого в очень выраженном каннибализме – питании собственной икрой у трехиглой колюшки во время нереста. Это явление известно для трехиглых колюшек [12], и хорошо показано для этого вида в Белом море [1; 5].

Заключение

Таким образом, результаты наших исследований показывают, что в нерестовый период девятииглая колюшка Белого моря всегда находится в тесном соприкосновении с гораздо более многочисленной трехиглой колюшкой. Возможно, в попытке снизить конкуренцию морская девятииглая колюшка нерестится в специфических акваториях – полуизолированных морских лагунах. В таких водоемах численность нерестящейся трехиглой колюшки действительно меньше, но, тем не менее, все равно на два порядка больше, чем численность девятииглой. Молодь P. pungitius, нагуливаясь в лагунах во второй половине лета, также сталкивается с превосходящей по численности в несколько раз молодью G. aculeatus. Возможно, резкое снижение численности девятииглой колюшки после 2017 г. связано с накопившимся негативным воздействием сильно разросшейся популяции трехиглой колюшки.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-24-00-956.

Благодарности. Авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность круглогодичной работы на Белом море. Также, авторы благодарны администрации Кандалакшского государственного заповедника, за разрешение работать в Бабьем море.

Список литературы

1. *Демчук, А. С.* Питание беломорской трехиглой колюшки Gasterosteus aculeatus (Linnaeus, 1758) на нерестилищах / А. С. Демчук, М. В. Иванов, Т. С. Иванова, Н. В. Полякова, П.В. Головин, Д. Л. Лайус // Труды Карельского научного центра РАН. – 2018. – № 4. – С. 42-58. DOI: 10.17076/them818.

2. *Berezina N.A.* Feeding Features of the Nine-Spined Stickleback Pungitius pungitius (Gasterosteidae) In Water Bodies of the North-West of Russia / N.A. Berezina, N.N. Zhgareva, A.P. Strelnikova. // Journal of Ichthyology. – 2023. – V63. – Issue 2. – p. 309-318.
3. *DeFaveri, J.* Geographic variation in age structure and longevity in the nine-spined stickleback (Pungitius pungitius) / J. DeFaveri, T. Shikano, J. Merilä. // PLoS One – 2014. – V9 – Issue 7 https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102660
4. *Demchuk A.* Feeding patterns in seagrass beds of three-spined stickleback Gasterosteus aculeatus juveniles at different growth stages / A. Demchuk, M. Ivanov, T. Ivanova, N. Polyakova, E. Mas-Martí, D. Lajus. // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom – 2015. – V.95 – Issue 8. – p. 1635–1643. https://doi.org/10.1017/S0025315415000569
5. *Feng X.* Complex population history affects admixture analyses in nine-spined sticklebacks. / X. Feng, J. Merilä, A. Löytynoja. // Molecular Ecology. – 2022 – V.31 – Issue 20 – p. 5386-5401. doi:10.1111/mec.16651
6. *Hart, P.* J. Habitat use and feeding behaviour in two closely related fish species, the threespined and ninespined stickleback: an experimental analysis. / P. J. Hart // Journal of Animal Ecology. – 2003. – V.72 – Issue 5. – p. 777-783.
7. *Heins D.* C. Life History Variation Within and Among Populations of the Ninespine Stickleback (Pungitius pungitius) in Alaska: Lake-Stream Contrasts. / D. C. Heins. // The American Midland Naturalist. – 2019. – V.182 – Issue. 2. – p. 228-238.
8. *Herczeg G.* Rensch's rule inverted–female-driven gigantism in nine-spined stickleback Pungitius pungitius. / G. Herczeg, A.Gonda, J. Merilä. // Journal of Animal Ecology. – 2010. – V.79 – Issue 3. – p. 581-588.
9. *Ivanova T.S.* The White Sea threespine stickleback population: spawning habitats, mortality, abundance. / T.S. Ivanova, M.V. Ivanov, P.V. Golovin, N.V. Polyakova, D.L. Lajus. // Evolutionary Ecology Research, 2016. – V. 17. – p. 301-315.
10. *Lajus, D.* Multidecadal fluctuations of threespine stickleback in the White Sea and their correlation with temperature. / D. Lajus, T. Ivanova, E. Rybkina, J. Lajus, M. Ivanov. // ICES Journal of Marine Science. – 2021. – V.78. – Issue 2. – p. 653-665.
11. *Mehlis, M.* To eat or not to eat : egg-based assessment of paternity triggers fine-tuned decisions about filial cannibalism. / M. Mehlis, T. C. M. Bakker, L. Engqvist, J. G. Frommen. // Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2010. – V.277. – p. 2627–2635.
12. *Merilä, J.* Nine-spined stickleback (Pungitius pungitius): an emerging model for evolutionary biology research. // J. Merilä. // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2013. – V.1289. – Issue 1. – p. 18-35.
13. *Novakowski, G. C.* Diet seasonality and food overlap of the fish assemblage in a pantanal pond. / G. C. Novakowski, N. S. Hahn, R. Fugi. // Neotropical Ichthyology. – 2008. – V.6. – p. 567-576.
14. *Pianka, E. R.* Sympatry of desert lizards (Ctenotus) in Western Australia. / E. R. Pianka. // Ecology. – 1969. – V.50 – Issue. 6. – p. 1012-1030.
15. *Shikano, T.* History vs. habitat type: explaining the genetic structure of European nine spined stickleback (Pungitius pungitius) populations. / T. Shikano, Y. Shimada, G. Herczeg, J. Merilä. // Molecular Ecology. – 2010. – V.19. – Issue 6. – p. 1147-1161. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04553.x
16. *Teacher, A. G.* Phylogeography and genetic structuring of European nine-spined sticklebacks (*Pungitius pungitius*)—mitochondrial DNA evidence. / A. G. Teacher, T. Shikano, M. E. Karjalainen, J. Merilä. // PLoS One. – 2011. – V.6 – Issue 5. e19476.
17. *Varadharajan S. A* high-quality assembly of the nine-spined stickleback (Pungitius pungitius) genome. / S. Varadharajan, P. Rastas, A. Löytynoja, M. Matschiner, F.C. Calboli, B. Guo, A.J. Nederbragt, K.S. Jakobsen, J. Merilä. // Genome biology and evolution. – 2019. – V.11 – Issue 11. – p. 3291-3308.

18. *Wootton, R. J.* The biology of the sticklebacks. / R. J. Wootton. // Academic Press., London. – 1976. – p. 346–370 p.
19. *Wootton, R. J.* A functional biology of sticklebacks. / R. J. Wootton. // University of California Press, Berkeley and Los Angeles, California. – 1984. – P. 265.
20. *Zaret, T. M.* Competition in tropical stream fishes: support for the competitive exclusion principle. / T. M. Zaret, A. S. Rand. // Ecology – 1971. – V.52. – Issue 2. – p. 336-342.

УДК 574.5

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЛИТОРАЛЬНЫХ ГИДРОБИОНТОВ ОЗ. БАЙКАЛ У ПОС. ТАНХОЙ

Н.А. Кульбачная, М.А. Масленникова, Е.К. Ермолаева, А.В. Лавникова, Л.Б. Бухаева, С.А. Бирицкая, Д.И. Голубец, О.А. Садыкова, И.В. Миловидова, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия, natalalen@mail.ru

Аннотация. Исследовано и проанализировано изменение суточных вертикальных миграций амфипод при различных типах искусственного освещения. Обнаружено, что в ночное и дневное время количественно преобладают гарпактикоиды и каланоиды, а при определенных режимах искусственного освещения амфиподы. Предложены возможные последствия светового загрязнения.

Ключевые слова: Байкал, суточные вертикальные миграции, искусственный свет, амфиподы, световое загрязнение.

THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL LIGHTING ON LITTORAL HYDROBIONTS OF LAKE BAIKAL IN THE VILLAGE OF TANKHOY

N.A. Kulbachnaya, M.A. Maslennikova, E.K. Ermolaeva, A.V. Lavnikova, L.B. Bukhaeva, S.A. Biritskaya, D.I. Golubets, O.A. Sadykova, I.V. Milovidova, D.Y. Karnaukhov, E.A. Silow

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, natalalen@mail.ru

Abstract. The changes in the diurnal vertical migrations of amphipods under various types of artificial lighting have been studied and analyzed. It was found that harpacticoids and kalanoids quantitatively predominate at night and in the daytime, and amphipods predominate under certain artificial lighting conditions. The consequences of light pollution are proposed.

Keywords: Baikal, daily vertical migrations, artificial light, amphipods, light pollution.

Суточные вертикальные миграции – это явление передвижения гидробионтов в толще воды к поверхности с периодом 24 часа. Подобное поведение характерно для донных и пелагических организмов (особенно для различных отрядов ракообразных: копепод, амфипод, изопод и др.) и распространено во многих типах водоёмов: от рек и озёр до морей и океанов [1; 2]. Искусственное освещение в основном негативно влияет она данный процесс, т.к. происходят изменения в количественном составе мигрирующих организмов ночью (что приводит к изменению структуры участка биоценоза или всего водоёма).

Целью работы было установить изменения в структуре и обилии гидробионтов при суточных вертикальных миграциях ночью без света и при искусственном освещении и выяснить, к чему может привести световое загрязнение.

Материалы и методы

Для изучения влияния искусственного освещения на гидробионтов Байкала у пос. Танхой производился отбор планктонных проб в дневное, ночное время и ночью при различном искусственно созданном освещении (с интенсивностью 30 Lx, с применением синего фильтра и интенсивностью 30 Lx и с применением красного фильтра с аналогичной интенсивностью) с помощью нейстонной сети над глубиной 0,5 м. Далее в условиях лаборатории производился количественный подсчёт организмов под стереомикроскопом.

Результаты

При качественном подсчёте проб выяснилось, что около пос. Танхой встречаются такие организмы как: амфиподы, каланоиды, циклопоиды, гарпактикоиды, остракоды, кладоцеры, науплии и хирономиды (рис.1).

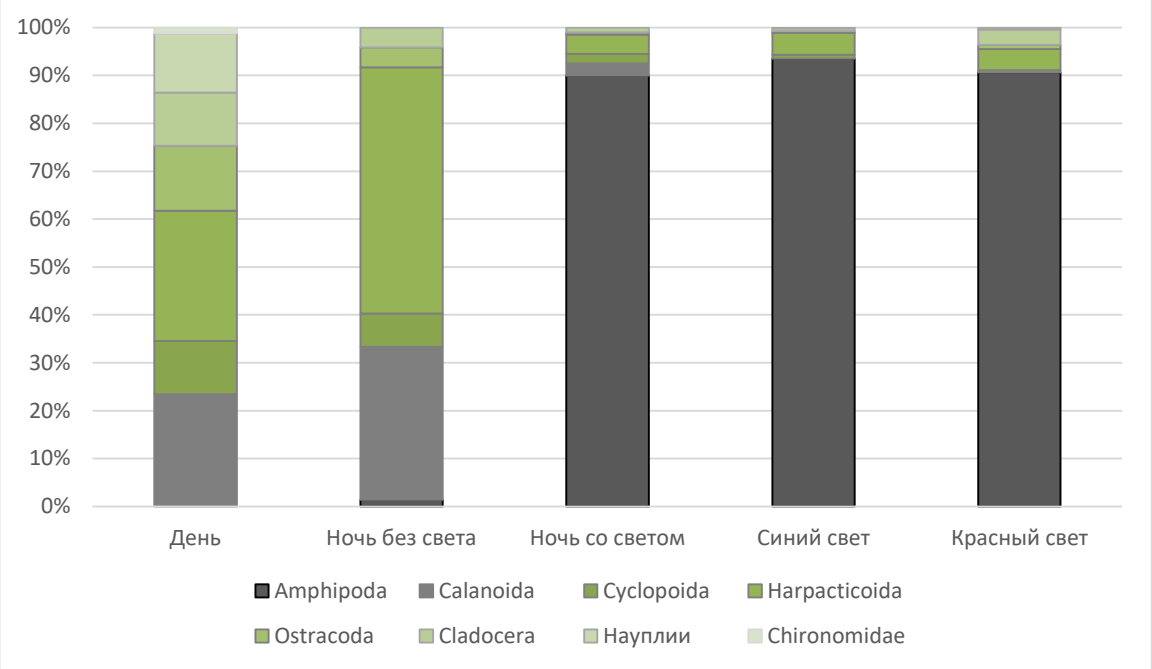


Рис. 1. Процентное соотношение в структуре сообщества гидробионтов

Количественный подсчёт показал, что при появлении освещённости значительно преобладают амфиподы, тогда как в дневное время и ночью без освещения чаще встречаются гарпактикоиды, каланоиды и циклопоиды (табл. 1)

В связи с тем, что не было замечено вертикальных миграций амфипод в дневное и ночное время без света, можно сказать, что резкое увеличение численности (привлечение) при освещении может привести к сильным изменениям в таксономическом и количественном составе гидробионтов Байкала. Так, при ночных миграциях без освещения в тёмное время суток, амфиподы (и другие беспозвоночные) не видны для хищных рыб, однако, наличие светового загрязнения делает их уязвимыми [3]. Так же в связи с тем, что при разном искусственном освещении количество амфипод обнаруживалось примерно одинаковое, то любой источник света будет оказывать влияние на поведение исследуемых организмов. Следует заметить, что пос. Танхой постепенно развивается в туристическом направлении, поэтому следует

продолжать отслеживать изменения, связанные со световым загрязнением береговой линии озера.

Таблица 1. Влияние светового режима на численность и видовой состав гидробионтов

Amphipoda	День	0
Calanoida		32 ± 17,40
Cyclopoida		15 ± 7,64
Harpacticoida		37 ± 13,64
Ostracoda		18 ± 3,33
Cladocera		15 ± 15
Науплии		17 ± 12,02
Chironomidae		2 ± 1,67
Amphipoda	Ночь	2 ± 1,67
Calanoida		38 ± 20,28
Cyclopoida		8 ± 4,41
Harpacticoida		52 ± 21,67
Ostracoda		5 ± 5
Cladocera		5 ± 2,89
Науплии		0
Chironomidae		0
Amphipoda	Ночь и искусственное освещение (30 Lux)	298 ± 256,75
Calanoida		8 ± 8,33
Cyclopoida		7 ± 6,67
Harpacticoida		13 ± 6,01
Ostracoda		2 ± 1,67
Cladocera		3 ± 3,33
Науплии		0
Chironomidae		0
Amphipoda	Ночь и искусственное освещение с синим фильтром (30 Lux)	1010 ± 242,09
Calanoida		0
Cyclopoida		8 ± 4,41
Harpacticoida		50 ± 40
Ostracoda		3 ± 3,33
Cladocera		7 ± 6,67
Науплии		2 ± 1,67
Chironomidae		0
Amphipoda	Ночь и искусственное освещение с красным фильтром (30 Lux)	372 ± 143,07
Calanoida		0
Cyclopoida		2 ± 1,67
Harpacticoida		18 ± 11,67
Ostracoda		3 ±3,33
Cladocera		13 ± 6,01
Науплии		2 ± 1,67
Chironomidae		0

На основе проведенной работы были установлены изменения структуры гидробионтов во время суточных вертикальных миграций днем, ночью без света и ночью с освещением с различными цветовыми фильтрами. Эти изменения, представленные в рисунке 1 и таблице 1 указывает на большую роль воздействия

искусственного освещения в ночное время на миграции амфипод, что может приводить к их выеданию хищниками.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке проекта Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. *Карнаухов, Д. Ю.* Особенности структуры ночного миграционного комплекса гидробионтов в различных участках озера Байкал / Д. Ю. Карнаухов, В. В. Тахтеев, А. С. Мишарин // Известия Иркутского государственного университета. – 2016. – Т.18. – С.87-98.
2. *Тахтеев, В. В.* Суточные вертикальные миграции гидробионтов в прибрежной зоне оз. Байкал / В. В. Тахтеев, Д. Ю. Карнаухов, Е. Б. Говорухина, А. С. Мишарин // Биология внутренних вод. – 2019. - №2. – С.50-61.
3. *Karnaukhov, D.* Light pollution affects the coastal zone of Lake Baikal / D. Karnaukhov, M. Teplykh, E. Dolinskaya, S. Biritskaya, Ya. Ermolaeva, V. Pushnica, I. Kuznetsova, A. Okholina, L. Bukhaeva, Eu. Silow // Limnological review. – 2021. -№3. – С.165-168.

УДК 597.5:591.8:574.24

ПОЛОВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА И КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИСТОПАТОЛОГИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ СИБИРСКОГО ХАРИУСА (THYMALLUS ARCTICUS) р. ХАРАМАТОЛОУ

И.С. Некрасов [1,2], А.Ю. Марченко [1], А.А. Шаврина [1], Е.И. Калеева [2]
[1] Институт биологии, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия
[2] Лаборатория «AquaBioSafe», Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия, e-mail: nekrasov.i.s@mail.ru

Аннотация. В бассейне реки Собь, подверженном техногенному воздействию, у доминирующего вида ихтиоценоза выявлены патологические изменения жизненно важных органов. Объект исследования – наиболее многочисленный представитель аборигенной ихтиофауны, чувствительный к качеству среды обитания – сибирский хариус (Thymallus arcticus). В качестве органов биомаркеров были использованы жаберный аппарат, гонады и печень. В гистоструктуре жабр обнаружено 7 типов патологий, в яичнике отмечены резорбирующиеся вителлогенные ооциты, в печени 4 типа патологических процессов. Диагностированные патологии жаберного аппарата и печени не являются видоспецифичными и могут быть интерпретированы как неспецифические ответные реакции организма на изменение качества окружающей среды.
Ключевые слова: гистологический анализ; сибирский хариус; жабры; гонады; печень; река Хараматолоу.

AGE-GENDER STRUCTURE AND QUALITY ASSESSMENT OF HISTOPATHOLOGIES OF INTERNAL ORGANS OF THE ARCTIC GRAYLING (THYMALLUS ARCTICUS) OF HARAMATOLOU R.

I.S. Nekrasov[1,2], A.Yu. Marchenko[1], A.A. Shavrina[1], E.I. Kaleeva[2]

[1]Institute of Biology, Tyumen State University, Tyumen, Russia
[2]AquaBioSafe Laboratory, Tyumen State University, Tyumen, Russia,
e-mail: nekrasov.i.s@mail.ru

Summary. Pathological changes of vital organs have been revealed in the dominant species of ichthyocenosis in the Sob River basin exposed to technogenic impact. The object of the study is the most numerous representative of aboriginal ichthyofauna, sensitive to the quality of habitat - arctic grayling (Thymallus arcticus). The gill apparatus, gonads and liver were used as biomarker organs. 7 types of pathologies were found in the histostructure of gills, resorbing vitellogenic oocytes were noted in the ovary, and 4 types of pathological processes were found in the liver. The diagnosed pathologies of the gill apparatus and liver are not species-specific and can be interpreted as nonspecific responses of the organism to changes in environmental quality.
Keywords: histological analysis; arctic grayling; gills; gonads; liver; Haramatolou River.

В последние десятилетия сохранение биоразнообразия становится приоритетной задачей в рамках поддержания экологического состояния Земли [9]. Особое значение имеет сохранение естественных мест обитания, но как можно наблюдать, они всё чаще подвергаются воздействию антропогенных факторов. Даже отдаленные от населенных пунктов экосистемы так или иначе находятся под действием антропогенной нагрузки [5; 11].

Во многих регионах нашей страны, в том числе и на Полярном Урале, пагубное антропогенное влияние не снижается, а наоборот, становится все более серьезным. Основными причинами плохой экологической обстановки служат стоки промышленных и хозяйственных предприятий; нефтяные загрязнения и добыча полезных ископаемых; чрезмерный вылов рыбы; акклиматизация, интродукция и саморасселение [12]. Горы Полярного Урала являются важнейшим источником полезных ископаемых страны, внося существенный вклад в экологическую обстановку северных регионов в том числе Ямало-Ненецкого АО [13]. Верхнее и среднее течение Соби уже на протяжении двух десятков лет испытывает на себе пагубное влияние ГМК «Конгор-Хром», расположенного в истоках рек Енгаю и Хараматолоу, не говоря о трансграничных переносах и изменении климата. Помимо нарушений естественного облика ландшафтов, при разработке карьеров хромовых руд происходит вымывание фенолов и тяжелых металлов в близлежащие водные объекты [14].

Типичными представителями семейства хариусовых рыб бассейна Оби являются сибирский хариус (Thymallus arcticus) и европейский хариус (Thymallus thymallus) [7]. Хариус является хорошим индикатором окружающей среды, так как он наиболее распространен среди всех видов рыб в горных реках Полярного Урала [2; 3; 9]. Помимо этого, представители данного семейства занимают особое положение в трофической цепи водоемов, являясь эврифагами, а по достижении взрослого состояния – исключительными хищниками. Тем самым аккумулируя большое количество ксенобиотиков.

Анализ состояния гидробионтов позволяет установить, насколько пригодна для их жизни окружающая среда и насколько сильно она претерпела изменения под действием естественных процессов или антропогенного прессинга [3; 15]. Исследование гистологической структуры жаберного аппарата, печени и гонад позволяет охарактеризовать прижизненное морфофункциональное состояние высшего звена трофических сетей – рыб.

Цель работы заключалась в патогистологической характеристике жизненно важных органов сибирского хариуса (*Thymallus arcticus*) реки Хараматолоу.

Материал и методы исследования

Сбор ихтиологического материала был проведен в реке Хараматолоу (ЯНАО) в период с 6 по 8 августа 2022 года. Всего для проведения общего клинического и

гистологического анализа было выловлено 36 особей сибирского хариуса. Длину измеряли по Смитту, общую массу тела, массу тела без внутренностей и массу гонад получали взвешиванием с точностью до 0,1 г [10]. Возраст особей определяли по чешуе. На месте сбора у отловленных рыб препарировали жабры, печень, гонады и фиксировали в смеси Бродского. Гистологический анализ проводили в лаборатории экологической гистофизиологии рыб Института биологии ТюмГУ по стандартным методикам [4; 8]. Парафиновые срезы толщиной 5 мкм, готовили на автоматизированном ротационном микротоме HM 335S («MICROM») и окрашивали железным гематоксилином и азокармином по Гейденгайну. Микропрепараты анализировали на микроскопе AxioImager A1 («Zeiss») с помощью камеры AxioCam MRc5 («Zeiss») и программного обеспечения AxioVision 4.7.1 (“Zeiss”). Все расчеты и статистическая обработка были проведены в программе MS Excel 2010.

Результаты

Выборка была представлена разновозрастными рыбами от 1+ до 5+ лет. В уловах преобладали самцы, соотношение полов составляло 1,3:1. В гендерном отношении по длине существенных различий не наблюдали, однако, по весу, в старших возрастных группах, самки были тяжелее (табл. 1). В количественном соотношении четырехлетних рыб обоих полов было меньше, преобладали 3-х и 5-ти летние особи. Максимально крупным выловленным хариусом оказался пятилетний самец длиной 431 мм и массой 777 г. В целом размерно-весовые характеристики значительно превышали имеющиеся в литературе данные в схожих возрастных группах [1; 3; 6; 7; 9; 16], что вероятно говорит о хорошей кормовой базе реки.

Таблица 1.Биологические показатели сибирского хариуса в реке Хараматолоу (2022г)

Параметры	Пол	Возраст, лет				
		1+	2+	3+	4+	5+
Длина по Смитту, мм	♀	232±7,9 211-249 (n=4)	257±5,9 245-279 (n=5)	342 329-354 (n=2)	372±11,9 340-394 (n=4)	410 (n=1)
	♂	235 230-240 (n=2)	274±9,6 254-291 (n=4)	303 298-308 (n=2)	359±7,3 333-390 (n=8)	414±14,3 375-439 (n=4)
Масса, г	♀	135±9,7 107-150 (n=4)	183±14,2 160-239 (n=5)	441 390-491 (n=2)	591±26,6 534-655 (n=4)	768 (n=1)
	♂	132 116-147 (n=2)	213±25,3 154-265 (n=4)	298 286-310 (n=2)	503±28,4 418-650 (n=8)	670±43,5 570-777 (n=4)
ГСИ, %	♀	0,3±0,04 0,2-0,4 (n=4)	0,4±0,03 0,3-0,5 (n=5)	0,5 0,4-0,6 (n=2)	2,6±0,12 2,3-2,8 (n=4)	3,7 (n=1)
	♂	0,2 0,1-0,2 (n=2)	0,2±0,09 0,1-0,5 (n=4)	0,1 0,1-0,2 (n=2)	1,4±0,25 0,1-2,2 (n=8)	1,4±0,06 1,3-1,6 (n=4)

Примечание. Над чертой – среднее значение и его ошибка, под чертой – min–max, n – число исследованных рыб, ГСИ – гонадосоматический индекс.

Во всех возрастных группах (табл. 1) гонадосоматический индекс (ГСИ) преобладал у самок и с возрастом увеличивался. Половина отловленных рыб были

половозрелыми и готовились к следующему нерестовому сезону.

Согласно результатам гистологического анализа, сибирский хариус обоего пола в р. Хараматолоу созревает в возрасте пяти лет. Что согласуется со значениями ГСИ из таблицы 1. По результатам клинического обследования, у половины обследованных самцов к особенностям внутреннего строения стоит отнести ассиметричное строение семенников (во всех случаях правый был крупнее левого), что никак не отразилось на гистоструктуре органа. У всех половозрелых самцов семенники находились на III стадии зрелости, в семенных канальцах накапливались сперматиды и спермии. У неполовозрелых рыб в 1+…3+ основная масса половых клеток была представлена сперматогониями и сперматоцитами.

Яичники у всех половозрелых особей сибирского хариуса в р. Хараматолоу находились на IV стадии зрелости, в которых старшей генерацией половых клеток были вителлогенные ооциты фазы накопления желтка (рис. 1а). Резервный фонд половых клеток был представлен многочисленными превителлогенными ооцитами разных размерных групп. Стоит отметить, что у всех четырехлетних самок выявлены резорбирующиеся вителлогенные ооциты фазы вакуолизации цитоплазмы (рис. 1б).

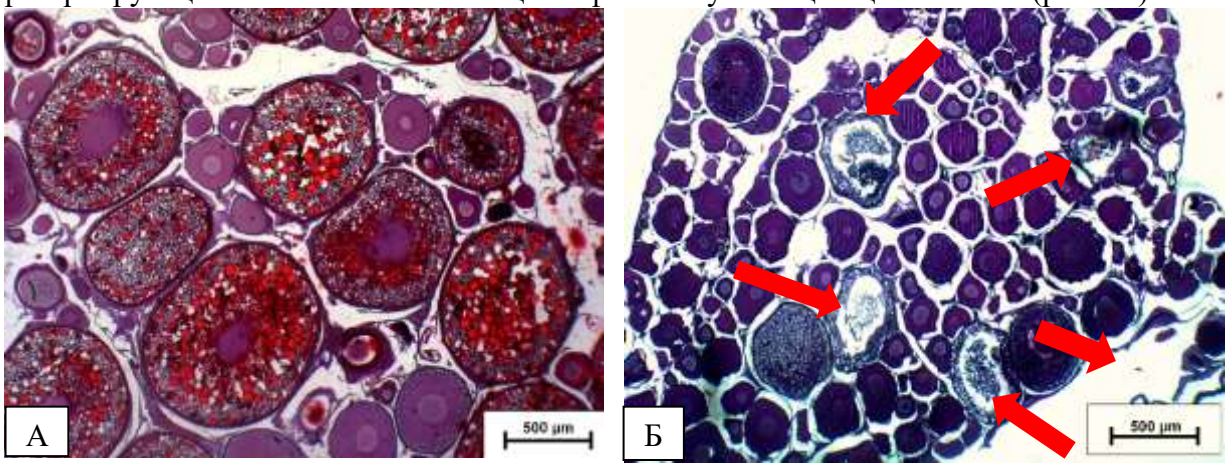


Рис. 1. Яичник сибирского хариуса из реки Хараматолоу
А – старшая генерация половых клеток представлена вителлогенными ооцитами фазы накопления желтка у самки 4+;
Б – резорбция вителлогенных ооцитов фазы вакуолизации цитоплазмы (стрелки) в яичнике самки 3+; Окраска азановым методом по Гейденгайну

При гистопатологическом анализе жаберного аппарата хариуса сибирского из р. Хараматолоу были отмечены следующие патологии: гипертрофия, гиперплазия и отек эпителия; слияние ламелл и аневризмы; цитолиз и десквамация ламелл. Наблюдалась тенденция увеличения разнообразия и частоты встречаемости патологических отклонений в жаберном аппарате с возрастом рыб.

У неполовозрелых рыб, возрастной группы 1+…2+ лет, доминировали обратимые патологии (гиперплазия, гипертрофия, отек), в то время как у рыб старшего возраста большую долю составляли необратимые патологии (цитолиз, десквамация). Слияние ламелл в большей степени было присуще самкам, а десквамация – самцам (рис. 2). Также стоит отметить, что цитолиз встречался среди всех возрастных групп самцов, однако, наибольшей доли достигал в группе самок 5+ лет. На фоне всей выборки выделялись особи возрастной группы 3+, у которых наблюдали серьезные деструктивные отклонения в строении жаберного аппарата.

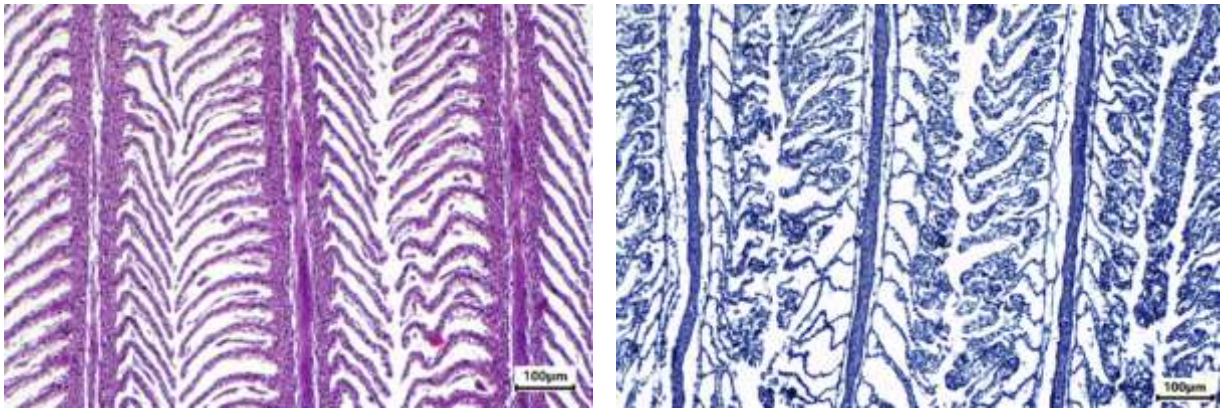
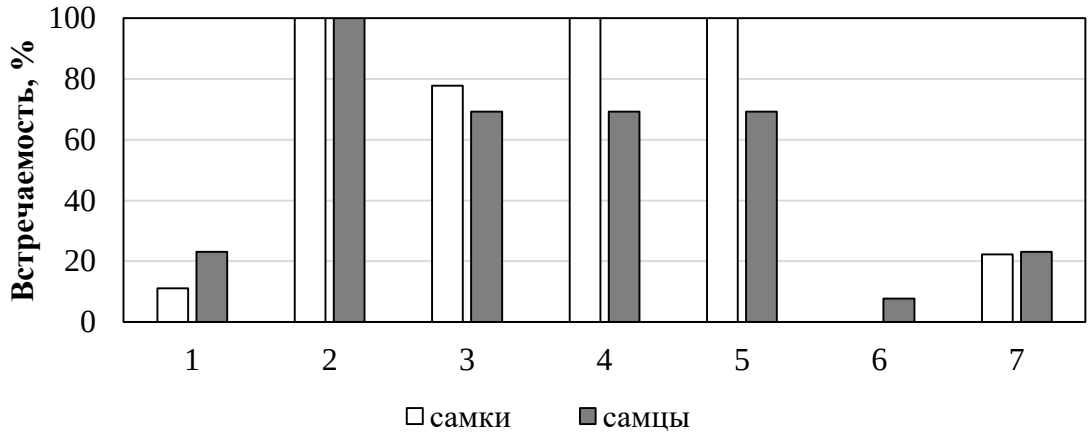


Рис. 2. Жаберный аппарат сибирского хариуса из р. Хараматолоу
А – нормальное состояние; Б – десквамация эпителия.

В целом, жаберный аппарат сибирского хариуса находился в удручающем состоянии. Площадь патологий у отдельных особей могла превышать более трети среза, а иногда достигала половины. Жабры рыб характеризовались как компенсаторно-приспособительными, так и деструктивными преобразованиями. Скорее всего, данные отклонения жаберного аппарата сибирского хариуса вызваны влиянием токсикантов антропогенной природы.

Печень. Не смотря на отсутствие клинических отклонений в строении органа при препарировании, в микроструктуре органа обнаружены отклонения в виде кавернизации паренхимы, фиброзов кровеносных сосудов и желчных протоков, ММЦ. У всех исследованных рыб наблюдалась васкуляризация органа, что вероятнее всего связано с сезоном нагула. Согласно полученным данным частота встречаемости патологических отклонений выше у самок (рис. 3). Однако, у ряда самцов дополнительно отмечены отклонения в виде меланомакрофагальных центров (ММЦ), что говорит о воспалительных процессах в организме. У всех самок были выявлены фиброзы кровеносных сосудов и желчных протоков.



1 - гиперемия; 2 - васкуляризация; 3 - кавернизация;
4 - фиброз кровеносных сосудов; 5 - фиброз желчных протоков;
6 - ММЦ; 7 - цисты паразитов

Рис. 3. Частота встречаемости циркуляторных процессов и патологических изменений в печени сибирского хариуса из р. Хараматолоу (ЯНАО)

Не смотря на высокую частоту встречаемости обнаруженных патологий, их доля на срезе была относительно не большой.

Заключение

Размерно-массовые показатели у сибирского хариуса из р. Хараматолоу (ЯНАО) существенно выше, чем у приведенных в литературе из других водоемов, что свидетельствует о хорошей кормовой базе, обеспечивающей рост хариуса даже в условиях низких среднегодовых температур. В половой структуре преобладали самцы (1,3:1). Особи обоего пола созревали на пятом году жизни. Старшей генерацией половых клеток в яичниках половозрелых рыб были вителлогенные ооциты фазы накопления желтка, в семенниках – сперматиды и спермии. Несмотря на крупные размеры пойманных рыб, существенные отклонения в жаберном эпителии свидетельствуют о наличии фактора (ов), угнетающего респираторную функцию этого вида в данном водоеме. Печень у всех исследованных рыб также имела определенную долю аномалий, в большей степени присущую самкам. По разнообразию и характеру патологий особо выделяются 4-х летние рыбы у которых высокая степень поражения жаберного аппарата и печени, а также наличие у самок большого количества резорбирующихся вителлогенных ооцитов.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН(2).

Список литературы

1. *Богданов, В.Д.* Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала / В.Д. Богданов, Е.Н. Богданова, А.Л. Гаврилов, И.П. Мельниченко, Л.Н. Степанов, М.И. Ярушина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 168 с.
2. *Дворянкин, Г.А.* Экология, биология и питание хариуса (*Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758) р. Сотки Пинежского государственного заповедника / Г.А. Дворянкин, В.А. Лукина // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. – 2022. – №4. – С. 47–54.
3. *Зиновьев, Е.А.* Хариус как индикатор антропогенных воздействий / Е.А. Зиновьев // Антропогенная динамика природной среды: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь, 2006. – С. 148–154.
4. *Лилли Р.* Патогистологическая техника и практическая гистохимия / Р. Лилли. – М.: Мир, 1969. – 348 с.
5. *Лукина, Ю.Н.* Структурно-функциональные изменения рыб в фоновых озерах Приполярного Урала / Ю.Н. Лукина, В.И. Пономарев, А.А. Лукин // Международный вестник ветеринарии. –2018. – №3. – С. 129-139.
6. *Мельниченко, И.П.* Ихтиофауна бассейна р. Лонготъеган / И.П. Мельниченко, В.Д. Богданов // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа №1 (64) Материалы по изучению биоты и экологических проблем ЯНАО. Салехард, 2010. – С. 48-56.
7. *Мельниченко, И.П.* Ихтиофауна реки Маньи (бассейн Северной Сосьвы, Нижняя Обь) / И.П. Мельниченко, В.Д. Богданов // Фауна Урала и Сибири, 2017. – №2. – С. 69–76.
8. *Микодина, Е.В.* Гистология для ихтиологов: опыт и советы / Е.В. Микодина, М.А. Седова, Д.А. Чмилевский, А.Е. Микулин, С.В. Пьянова, О.Г. Полуэктова. – М.: ВНИРО, 2009. – 112 с.
9. *Некрасов, И.С.* Состояние жаберного аппарата сиговых и хариусовых рыб глубоководного озера плато Путорана / И.С. Некрасов, Е.И. Баиева, А.Г. Селюков // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень: Изд-во "ВекторБук", 2020. – С. 130-134.
10. *Правдин, И.Ф.* Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) / Под ред. проф. П.А. Дерягина и канд. биол. наук В.В. Покровского. – М.: Изд-во «Пищевая промышленность», 1966. – 376 с.

11. *Пукало, П.Я.* Влияние антропогенных факторов на водные экосистемы / П.Я. Пукало, А.В. Базаева, А.В. Беспалый, М.А. Панчишный // Животноводство и ветеринарная медицина. – 2020. – №3. – С. 33-36.
12. *Решетников, Ю.С.* Современное состояние лососеобразных рыб в водоемах европейского Северо-Востока / Ю.С. Решетников, О.А. Попова, А.П. Новоселов // Труды ВНИРО. Промысловые виды и их биология, 2016. – Т. 16. – С. 6–11.
13. *Солодовников, А.Ю.* Минеральные ресурсы Полярного Урала Тюменской области и их использование (на примере Шурышкарского района) / А.Ю. Солодовников // Вестник СВФУ. – 2015. – №1. – С. 93–100.
14. *Старостин, С.А.* Оценка экологического состояния состава поверхностных вод и донных отложений в Ямало-Ненецком автономном округе / С.А. Старостин, Н.В. Юркевич, А.В. Еделев, Р.А. Колесников // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – №3. – С. 72–79.
15. *Шарова, Ю.Н.* Патологии рыб, развивающиеся в условиях техногенного воздействия, и стереотипы реакций / Ю.Н. Шарова, А.А. Лукин // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: материалы междунар. конф. Ч. 1. – Апатиты: КНЦ РАН, 2004. – С. 14–16.
16. *Nekrasov, I.S.* Size-age and histomorphological indicators of the arctic grayling (Thymallus arcticus) of Putorana nature reserve / I.S. Nekrasov, A.G. Selyukov // Theoretical and applied ecology. – 2023. – №1. – С.117-124. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-1-117-124

УДК 597.553.2(282.256.14):591.4

К МОРФОЛОГИИ СИБИРСКОГО ХАРИУСА (THYMALLUS ARCTICUS) ИЗ БАССЕЙНА РЕКИ ВОТМАЕГАН (НИЖНЯЯ ОБЬ)

В.И. Романов, С.Ю. Лаврентьев, Ю.В. Дылдин
Национальный исследовательский Томский государственный университет; Томск, Россия, e-mail: nrtsu@yandex.ru

Аннотация. Хариусовая фауна (Thymallidae) непосредственно в р. Обь представлена на двух участках бассейна – верхней и нижней Оби. Ареал верхнеобского хариуса ограничен истоками рек Бии, Катунь, в основном, правобережных притоков самой реки и простирается вплоть до бассейнов рек Томь и Чулым. В Средней Оби хариус отсутствует. Хариусовые рыбы, обитающие в водоемах Нижней Оби, представлены сибирским хариусом – Thymallus arcticus. Особенно многочисленны хариусы в левобережных притоках Нижней Оби, берущих начало с уральских гор. Данный хариус обнаружен и в некоторых правобережных притоках Оби – в бассейнах рек Казым и Вотмаеган. Представлены данные исследования меристических признаков хариусов из реки Вотмаеган. Анализ основных меристических признаков показал их сходство с хариусами из левых притоков Нижней Оби. В то же время нижнеобские хариусы существенно отличаются по числу чешуй в боковой линии от хариусов из водоемов бассейна Верхней Оби.

Ключевые слова. Нижняя Обь, река Вотмаеган, хариус, морфология.

ON MORPHOLOGY OF SIBERIAN GRAYLING (THYMALLUS ARCTICUS) IN THE BASIN ON RIVER VOTMAEGAN (LOWER OB)

V.I. Romanov, S.Y. Lavrentiev, Iu.V. Dyldin
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia
e-mail: icht.nrtsu@yandex.ru

Summary. Grayling fauna (Thymallidae) in River Ob is found in two parts of the basin – the Upper and Lower Ob. The habitat of the Upper Ob grayling is defined by the Biya and Katun rivers, mainly by the right-bank tributaries of the river and extends to the basins of river Tom and river Chulym. Grayling has not been found in the Middle Ob. Grayling population inhabiting the water bodies of the Lower Ob are represented by the Siberian grayling – Thymallus arcticus. Graylings are especially abundant in the left-bank tributaries of the Lower Ob, which originate from the Ural Mountains. This grayling is also found in some right-bank tributaries of river Ob, namely, in the basins of river Kazym and river Votmaegan. The study presents findings of meristic traits of graylings from the Votmaegan River. The analysis of their key meristic characters revealed similarities with graylings from the left tributaries of the Lower Ob. At the same time, the Lower Ob graylings differ significantly in the number of scales in the lateral line as compared to the graylings from the water bodies of the Upper Ob basin.

Keywords: Lower Ob, Votmaegan River, grayling, morphology.

Хариусовая фауна (Thymallidae) непосредственно в р. Обь представлена на двух участках бассейна – в верхнем и нижнем. В среднем участке, ввиду отсутствия здесь характерных для существования хариусов условий существования, эти рыбы отсутствуют. Ареал верхнеобского хариуса ограничен истоками рек Бии, Катунь, в основном, правобережных притоков самой реки и простирается вплоть до бассейнов рек Томь и Чулым. Находящиеся здесь водотоки представляют собой горные и полугорные реки с выраженным течением и чистой водой. В р. Чулым хариус придерживается верховьев некоторых левобережных притоков, численность его очень мала [21]. Характерные для Средней Оби песчаные и глинистые грунты здесь практически отсутствуют.

Участок бассейна р. Обь от места впадения Иртыша до устья принято относить к Нижней Оби. Ареал хариусов охватывает и верховья некоторых притоков нижних участков Тобола и Иртыша (Тура, Тавда, Конда), текущих с Уральских гор. Хариусовые рыбы, обитающие здесь, представлены сибирским хариусом – Thymallus arcticus, описанным из одного из левобережных притоков Нижней Оби – р. Собь П. Палассом [23]. Хариусы здесь обычны и кое-где являются фоновыми видами в местной ихтиофауне левобережных, стекающих с уральских гор, притоках Нижней Оби и водоемах Ямала. У некоторых из них были исследованы морфологические признаки [1, 4, 5, 22 и др.].

Считалось, что в правобережных притоках Нижней Оби сибирский хариус отсутствует. Позднее нами были найдены хариусы в притоках второго порядка (Мозяма и Нялхойтыюган) крупной реки Казым (длина 659 км), которая протекает по северной части Западно-Сибирской равнины и впадающей в р. Обь справа. Бассейн реки сильно заболочен, русло извилистое. Были исследованы морфологические признаки этих хариусов [16], которые показали полное сходство меристических признаков хариусов из бассейна р. Казым с хариусами из уральских притоков Нижней Оби. Однако зона правобережных притоков Нижней Оби до настоящего времени остается мало изученной территорией в ихтиологическом отношении. На наш взгляд, весьма перспективными на вопрос о присутствии в их ихтиофаунах сибирского хариуса могут оказаться такие реки, как Куноват и Полуй.

Несколько ниже устья р. Казым, в одну из находящихся здесь проток Оби (Ванзеватская) впадает р. Вотмаеган (Рис.), в составе ихтиофауны которой также был обнаружен сибирский хариус. Река Вотмаеган – правый приток р. Обь, имеет длину около 82 км.

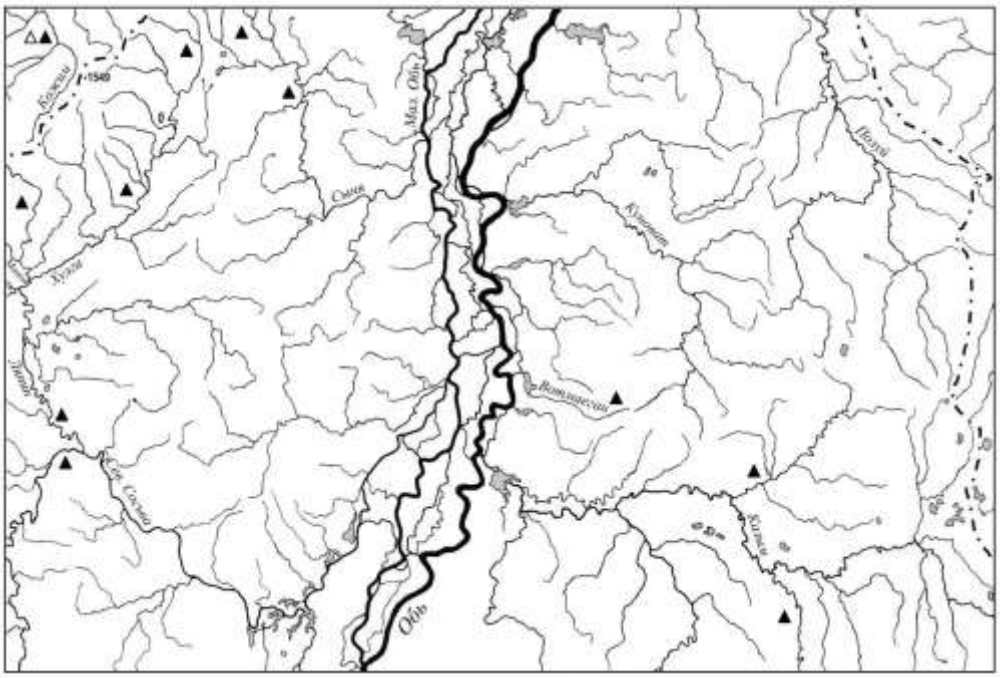


Рис. Карта-схема среднего участка бассейна Нижней Оби

Примечание. ▲ – водоемы, где обнаружен сибирский хариус; Δ – водоемы, где обнаружен европейский хариус; – · – · – границы водоразделов (бассейны: Печора–Обь, Обь–Надым).

Материалы сборов из этой реки легли в основу данной публикации. Всего изучены 23 хариуса из этой реки, у которых были просчитаны основные меристические признаки. Для исследований использовались традиционные методы морфологического анализа рыб [11, 15]. Были изучены основные меристические признаки хариусов: число неветвистых, ветвистых и общее число лучей в спинном плавнике; число жаберных тычинок на первой жаберной дуге; число прободённых и общее число чешуй в боковой линии (табл. 1). При просчете общего числа чешуй учитывались соразмерные чешуи расположенные после последней прободённой чешуйки. Число таких чешуй составляло от 1 до 4-х, обычно 2–3. Обработка цифровых данных проводилась в соответствии с методами математической статистики [10].

Таблица 1. Меристические признаки хариуса из бассейна р. Вотмаеган

Признаки	Lim		$\bar{x}$	± m	± σ	n
	min	max				
D	9	11	10,04	0,12	0,56	23
D ветв.	12	15	13,65	0,16	0,78	23
D+D ветв.	23	25	23,70	0,17	0,82	23
Sp.br.	17	21	18,22	0,22	1,04	23
L.l. пр.	88	100	92,65	0,57	2,74	23
L.l. пр.+	90	103	95,33	0,75	3,20	18

Примечание. D – число неветвистых лучей в спинном плавнике; D ветв. – число ветвистых лучей в спинном плавнике; D+D ветв. – общее число лучей в спинном плавнике; Sp.br. – число жаберных тычинок; L.l. пр. – число прободённых чешуй в боковой линии; L.l. пр.+ – общее число чешуй в боковой линии.

Данные, полученные при исследовании меристических признаков хариусов из правобережных притоков (Казым, Вотмаеган) согласуются с данными, которые были получены от хариусов из левобережных притоков Нижней Оби (табл. 2).

Таблица 2. Меристические признаки хариусов из водоемов бассейнов Нижней и Верхней Оби

Водоем	Авторы	Признаки					Число рыб
		Неветвистых лучей в D	Ветвистых лучей в D	Всего лучей в D	Число проподенных чешуй в L.l.	Жаберных тычинок	
Водоемы бассейна нижней Оби							
Р. Собь	[4]	8–12 / 9,96	11–16 / 13,70	21–26 / 23,70	83–103 / 93,02	14–20 / 16,90	121
Оз. Бол. Хадата	[1]	–	–	21–28 / 24,40	81–95 / 92,20	16–22 / 18,40	48
Р. Харбей	[4]	8–12 / 9,75	10–17 / 13,98	21–26 / 23,70	82–98 / 91,17	14–21 / 17,70	59
Оз. Безымянное	[4]	8–11 / 9,80	12–16 / 13,17	22–26 / 23,67	84–103 / 92,24	15–20 / 16,76	54
Р. Манья	[20]	–	12–14 / 13,15	–	87–96 / 90,82	18–23 / 19,59	39
Р. Казым	[16]	9–12 / 9,95	13–16 / 14,00	22–25 / 23,95	83–96 / 90,26	17–21 / 18,47	19
Р. Вотмаеган	Наши данные	9–11 / 10,04	12–15 / 13,65	23–25 / 23,70	88–100 / 92,65	17–21 / 18,22	23
Среднее		8–12 / 9,90	10–17 / 13,61	21–26 / 23,85	82–103 / 91,77	18,01	
Водоемы бассейна верхней Оби							
Р. Суенга	[17]	8–10 / 9,21	12–16 / 13,89	21–25 / 23,1	75–90 / 82,96	17–22 / 19,54	78
Р. Бия	[19]	7–11	13–16	23,9	75–90 / 82,29	16–20 / 17,93	116
Рр. Бия, Башкаус	[8]	6–10 / 8,0	14–18 / 15,3	21–25 / 23,3	76–91 / 81,3	17–21 / 19,4	39
Оз. Телецкое	[3]	7–11	11–17	22–23	72–109 / 82,17	15–21 / 18,26	100
Оз. Нижнее Кулагаш бажи	[7]	6–10 / –	11–17 / 14,12	–	68–89 / 80,05	13–20 / 17,50	70
Среднее		6–11 / 9,02	11–18 / 14,17	21–25	68–91 / 81.75	13–22 / 18,53	

В свое время, в своей обзорной монографии по рыбам семейства Thymallidae Евразии А.Н. Световидов [18] отнёс хариусов бассейнов Оби, Енисея и р. Кобдо (Ховд) к западносибирскому подвиду сибирского хариуса – *Th. arcticus arcticus*. В основу этого описания легли материалы по 23 рыбам, собранным в различных участках бассейнов этих рек. Просмотренные автором меристические признаки хариусов

оказались следующими: D VII–XI 11–16 (общее число 18–24), A IV 8–10, P I 13–16, V II 8–10, l. l. 78–92, sp. br. 16–20, r. br. 8–10.

Позднее, с проведением новых исследований по изучению хариусовых рыб бассейнов этих рек выявились интересные факты, было обнаружено, что западносибирский подвид характеризуется очень большой изменчивостью некоторых меристических признаков. Например, наименьшее значение числа чешуй в боковой линии (68) было обнаружено у хариуса из оз. Нижнее Кулагаш бажи [7], относящегося к бассейну р. Чулышман, одного из притоков Телецкого озера. Наибольшее значение этого признака для бассейна Оби оказалось равным 103 и отмечены у хариусов из бассейна р. Собь [4]. Таким образом, размах изменчивости числа чешуй в боковой линии в бассейне Оби оказался равным 68–103. Обе эти величины явно выходили за пределы варьирования этого признака обозначенного А.Н. Световидовым. Кроме того, в одной из публикаций для хариусов оз. Телецкого [3] было указано максимальное число чешуй в боковой линии равное 109. Видимо это была опечатка [14], есть несколько других публикаций, где приведены данные по изменчивости этого признака хариусов в Телецком озере. В этих публикациях, и наших данных, максимальное значение числа чешуй в боковой линии у телецкого хариуса не превышает 92 [6].

В бассейне р. Енисей наименьшее значение числа чешуй в боковой линии составили 73 у хариусов из р. Шарга Гол (приток р. Шишхид Гол; Малый Енисей) [9], максимальное (123) было отмечено в водоемах Хантайской гидросистемы, в оз. Хаканча [12]. Таким образом, размах изменчивости этого признака для западносибирского подвида в бассейне Енисея варьировал от 73 до 123, разность составляет 50 чешуй, что является уникальным фактом для хариусовых рыб [13], как и других видов рыб. И в бассейне Енисея, как и в бассейне Оби, наблюдается уменьшение числа чешуй в боковой линии хариусов по мере продвижения от истоков этих рек к их устью. Боковая линия хариусов оказалась важным диагностическим признаком, показывающим неоднородность фауны этих рыб. Кроме числа чешуй в боковой линии в некоторых районах бассейна р. Енисей определенные отличия показывали такие признаки, как число неветвистых и общее число лучей в спинном плавнике.

В итоге, на наш взгляд, западносибирский подвид Th. arcticus arcticus оказался не более чем «фантомом», сборный по своим диагностическим признакам из разных территорий Сибири, бассейнов Оби и Енисея и внутренних водоемов Монголии [13]. Эти признаки легли в основу диагноза этого подвида, представленного А.Н. Световидовым [18], привнеся с собой особенности морфологии хариусов из бассейнов Южной Сибири и Нижней Оби, где обитают достаточно разные хариусы, претендующие на самостоятельный таксономический статус.

Кроме основных меристических признаков, которые представляют достоверные отличия между хариусами из водоемов бассейнов Верхней и Нижней Оби [13, 16, 25], было показано, с использованием анализа нуклеотидных последовательностей митохондриальной ДНК, что хариусы бассейна Верхней Оби демонстрируют обособленную кладу и филогенетически далеки от хариусов бассейна Обской губы [2, 24].

Река Собь является водоемом, где был обнаружен и описан как новый вид сибирский хариус – Th. arcticus (Pallas, 1776). Принимая во внимания современные исследования, южная граница его ареала не распространяется выше по Оби и ее некоторых притоков, которые относятся к бассейнам Нижнего Тобола и Нижней Оби. Для водоемов Оби известен другой вид хариусов, который был в свое время обнаружен в верховьях бассейна и притоках Верхней Оби (рр. Чарыш, Катунь, Томь, Обь, оз. Тальменье) – Th. nikolskyi Kaschtschenko, 1899, хариус Никольского (верхнеобской,

южносибирский). Именно он, а не сибирский хариус должен указываться для водоемов бассейна Верхней Оби.

Следует обратить внимание на правильность латинского написания фамилии Н.Ф. Кащенко. Сам автор такого написания не оставил. Позднее, при указании тех или иных таксонов, к которым Н.Ф. Кащенко, как автор, описавший их был причастен, специалистами указывались несколько вариантов написания его фамилии: Kashchenko, Kastschenko, Kaschenko. У Л.С. Берга в разных источниках эта фамилия воспроизводилась дважды: Kastschenko (в 1908 г.) и Kaschtschenko (в 1948 г.). На наш взгляд, в последнем варианте Л.С. Берг был максимально близок к правилам латинского языка, и именно этот вариант следует считать правильным.

Таким образом, следует считать, что в бассейне Оби (без Иртыша) в нижней части обитает сибирский хариус – Th. arcticus, а в верховьях – хариус Никольского – Th. nikolskyi. В перспективе весьма необходимо продолжить исследования в правобережных притоках Нижней Оби и в бассейнах рек Томь и Чулым.

Список литературы

1. *Венглинский, Д.Л.* Морфологическая характеристика хариуса водоемов Ямала и Полярного Урала / Д.Л. Венглинский, А.С. Яковлева // Закономерности роста и морфологические особенности рыб в различных условиях существования. – Свердловск, 1976. – С. 41–50.

2. *Голубцов, А.С.* Материалы по ихтиофауне водоемов Тигирекского заповедника / А.С. Голубцов, Н.В. Гордеева, В.Б. Журавлёв, С.Е. Черенков // Тр. Тигирекского заповедника, 2017. – Вып. 9. – С. 58–62.

3. *Гундризер, А.Н.* Рыбы Телецкого озера / А.Н. Гундризер, Б.Г. Иоганзен, В.В. Кафанова, Г.М. Кривощеков. – Новосибирск: Наука, 1981. – 160 с.

4. *Зиновьев, Е.А.* Сравнительный морфобиологический анализ сибирского хариуса *(Thymallus arcticus*, Thymallidae) северной и полярной части Урала / Е.А. Зиновьев, В.Д. Богданов // Вестник Астрах. ГТУ, 2012. – № 2. – С. 33–40.

5. *Зиновьев, Е.А.* Западно-сибирский хариус р. Харбей / Е.А. Зиновьев, Т.Н. Следь, А. Волгарев // Биологические ресурсы водоемов Урала, их охрана и рациональное использование: Второе региональное совещание гидробиологов Урала. Тез. докл. Ч. II. – Пермь, 1983. – С. 26–27.

6. *Иоганзен, Б.Г.* Новые формы рыб из Западной Сибири / Б.Г. Иоганзен // Заметки по фауне и флоре Сибири. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1945. – Вып. 6. – С. 1–16.

7. *Кафанова, В.В.* Краснохвостый хариус из озера Нижнее Кулагаш-бажи (Алтай) / В.В. Кафанова // Тр. НИИББ при Томск. ун-те, 1970. – Т. 1. – С. 80–89.

8. *Книжин, И.Б.* Хариусы (Thymallidae) водоемов Западной Монголии: морфологическое и генетическое разнообразие / И.Б. Книжин, С.Дж. Вайс, Б.Э. Богданов [и др.] // Вопр. ихтиол., 2008. – Т. 48. – Вып. 6. – С.745–766.

9. *Книжин, И.Б.* Новый вид хариуса Thymallus svetovidovi sp. nova (Thymallidae) из бассейна Енисея и его положение в роде Thymallus / И.Б. Книжин, С.Дж. Вайс // Вопр. ихтиологии, 2009. – Т. 49. – Вып. 1. – С. 5–14.

10. *Лакин, Г.Ф.* Биометрия / Г.Ф. Лакин. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.

11. *Правдин, И.Ф.* Руководство по изучению рыб / И.Ф. Правдин. – М.: Пищепромиздат, 1966. – 376 с.

12. *Романов, В.И.* Некоторые особенности изменчивости морфологических признаков у западносибирского хариуса *Thymallus arcticus arcticus* (Pallas) / В.И. Романов // Вестник ТГУ. Приложение: Мат-лы III Межд. конф. «Проблема вида и видообразование», 2004. – № 10. – С. 107–111.

13. *Романов, В.И.* О статусе западносибирского подвида сибирского хариуса (*Thymallus arcticus arcticus*): анализ некоторых меристических признаков / В.И. Романов // Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л.А. Кудерского). – СПб. : Издание ФГНУ "ГосНИОРХ" и "Тов-во научн. изданий КМК". 2007. – С. 436–452.

14. *Романов, В.И.* Видовой состав и структура аборигенной фауны лососевидных рыб юга Западной Сибири и сопредельных территорий / В.И. Романов, Н.А. Бочкарев // Фундаментальные проблемы охраны окружающей среды и экологии природно-территориальных комплексов Западной Сибири: Мат-лы конф. 27–30 июня 2000 г. – Горно-Алтайск, 2000. – С. 166–168.

15. *Романов, В.И.* Методы исследования пресноводных рыб Сибири: Учебное пособие / В.И. Романов, А.П. Петлина, И.Б. Бабкина. – Томск: Изд-во Томск. ун-та. 2012. – 256 с.

16. *Романов, В.И.* К морфологии сибирского хариуса (Thymallus arcticus (Pallas)) из бассейна реки Казым (Нижняя Обь) / В.И. Романов, С.Ю. Лаврентьев, Ю.В. Дылдин // Вестник СурГУ, 2016. – Вып. 3 (13). – С. 37–42.

17. *Романов, В.И.* Морфо-экологические особенности хариуса реки Суенги (бассейна верхней Оби) / В.И. Романов, И.Б. Бабкина, У.В. Павлова // Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство [Электронный ресурс]: мат-лы III Всерос. научно-практич. конференции, посвящ. 70-летию Красноярского государственного аграрного университета. – Красноярск, 2023. – С. 307–311.

18. *Световидов, А.Н.* Европейско-азиатские хариусы (*Genus Thymallus* Cuvier) / А.Н. Световидов // Тр. ЗИН АН СССР, 1936. – Т. 3. – С. 183–301.

19. *Северин, С.О.* Морфобиологическая характеристика хариуса реки Бии / С.О. Северин, Е.А. Зиновьев // Биологические ресурсы водоемов Урала, их охрана и рациональное использование: Второе регион. совещ. гидробиологов Урала. Тез. докл. Ч. II. – Пермь, 1983. – С. 61–62.

20. *Следь, Т.В.* Характеристика ихтиофауны бассейна р. Северной Сосьвы / Т.В. Следь, Л.В. Михайличенко, А.В. Лугаськов [и др.] // Характеристика экосистемы реки Северной Сосьвы. – Свердловск: Изд-во УрО АН СССР, 1990. – С. 94–178.

21. *Усынин, В.Ф. Р*ыбы / В.Ф. Усынин // Биологические ресурсы водоемов бассейна реки Чулым. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1980. – С. 91–141.

22. *Шишмарев, В.М.* Морфологическая характеристика некоторых видов рыб бассейна реки Северной Сосьвы / В.М. Шишмарев // Морфологические особенности рыб бассейна реки Северной Сосьвы. – Свердловск, 1979. – С. 38–73.

23. *Pallas, P.S.* Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs / P.S. Pallas // Reise aus Sibirien zurück an die Wolga in 1773sten JahrDas Dritten Theils. Zweytes Buch. Theil. – St. Petersburg: Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. 1776. – S. 457–760+[26].

24. *Petretto G.S.* Evaluating a species phylogeny using ddRAD SNPs: Cyto-nuclear discordance and introgression in the salmonid genus Thymallus (Salmonidae) / G.S. Petretto, G.K. Englmaier, S.J. Weiss, A. Antonov, H. Persat, D. Gael, T. Schenekar, V.I. Romanov, E.B. Taylor, E. Froufe // Molecular Phylogenetics and Evolution. 178 (2023) 107654. P. 1–13. www.elsevier.com/ locate/ympev

25. *Romanov, V.I.* On the taxonomic composition of the graylings (Thymallidae) from the Ob and Yenisei River Basins / V.I. Romanov // Intern. Journ. of Environmental Studies, 2017. – Vol. 74. – Issue 5: Siberian Biodiversity. – P. 845–853. https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1330602.

УДК 581.526.325.2 (282.2)

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА РЕКИ СЕВЕРНАЯ СОСЬВА (ПРИТОК НИЖНЕЙ ОБИ)

Л.А. Семенова, А.А. Мачитова
Тюменский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
г. Тюмень, Россия. E-mail: ecology@gosrc.ru

Аннотация. Впервые приводятся результаты изучения видового состава, структуры и обилия фитопланктона р. Северная Сосьва. Представленный список водорослей включает 191 таксон видового и подвидового рангов из 82 родов, 51 семейства и 8 отделов, при наибольшем разнообразии диатомовых (39 % от общего состава) и зеленых (38 %). Альгофлора представлена широко распространенными планктонными видами, обитающими при довольно широком диапазоне температур. По структуре и обилию фитоценоз реки носит диатомовый характер, ценотическая значимость синезеленых водорослей проявляется в более теплый летний период, зеленых – в позднелетний и осенний периоды. При богатом видовом разнообразии фитопланктон отличался невысоким уровнем количественного развития. Результаты оценки качества воды с использованием комплексной эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод суши по сапробному индексу и по биомассе фитопланктона позволили определить санитарно-биологическое состояние речной воды р. Северная Сосьва, которое соответствует II–III классу чистоты вод, разряд – от очень чистой до достаточно чистой, зона органического загрязнения – олигосапробная – бета-мезосапробная. Типичная для реки структура фитопланктона, биомасса до 5 мг/л и сапробное состояние водных масс свидетельствуют о том, что река еще не потеряла способность к самоочищению и ее экосистема пока сохраняет устойчивость к возрастающему антропогенному воздействию.
Ключевые слова. Альгофлора; видовой состав; обилие; река; структура.

BIODIVERSITY AND PHYTOPLANKTON STRUCTURE OF THE SEVERNAYA SOSVA RIVER (TRIBUTARY OF THE LOWER OB)

L.A. Semenova, A.A. Machitova
Tyumen branch of “VNIRO” (“Gosrybcenter”), Tyumen, Russia.
E-mail address: ecology@gosrc.ru

Summary. The results of studying the species composition, structure and abundance of phytoplankton of the Severnaya Sosva river are presented for the first time. The presented list of algae includes 191 taxa of species and subspecies ranks from 82 genera, 51 families and 8 divisions. With the greatest diversity of diatoms (39 % of the total composition) and greens (38 %). Algoflora is represented by widespread planktonic species living at a fairly wide temperature range. According to the structure and abundance, the phytocenosis of the river is diatomic in nature, the cenotic significance of blue–green algae is manifested in warmer summer, green - in late summer and autumn periods. With a rich species diversity, phytoplankton was not distinguished by a high level of quantitative development. The results of the water quality assessment using the integrated ecological and sanitary classification of the quality of land surface waters according to the saprobic index and phytoplankton biomass made it possible to determine the sanitary and biological state of river water. Northern Sosva, which corresponds to the II–III class of water purity, the category is from very clean to fairly clean, the zone of organic pollution is oligosaprobic – beta-mesosaprobic. The typical phytoplankton structure of the river, the biomass up to 5 mg/l and the saprobic state of the

water masses indicate that the river has not yet lost its ability to self-purify and its ecosystem is still resistant to the increasing anthropogenic impact.

Keywords: Algoflora; species composition; abundance; river; structure.

Северная Сосьва – одна из пяти самых многоводных рек Тюменской области (после Оби, Иртыша, Таза и Пура) [2]. Образуется слиянием рек Большая и Малая Сосьва, берущих начало на восточном склоне Северного Урала, впадает в левый рукав Оби – Малую Обь. Длина основного водотока свыше 750 км, площадь водосбора около 100 тыс. км². Ширина русла колеблется от 8 до 500 м, глубина – от 2 до 8 м, скорость течения – от 0,2 м/с на плесах до 2 м/с на перекатах. Температура воды в августе, самом теплом месяце, не превышает 21° С, в сентябре понижается до 6° С. Вода гидрокарбонатно-кальциевая, очень мягкая и мягкая, слабокислая или нейтральная [8]. Содержание растворенных в воде органических и некоторых минеральных веществ в целом очень высокое. Концентрация нефтепродуктов и фенолов в речной воде во много раз превышает уровень допустимого загрязнения [2]. В низовьях реки находятся многочисленные месторождения газа.

При растущем загрязнении водоемов Обского Севера становится актуальным проведение экологического контроля для сохранения природного качества воды нерестового притока нижней Оби, как р. Северная Сосьва. Здесь, как и на других уральских притоках Оби, происходит размножение большей части ценных видов сиговых рыб Обского бассейна, закладываются основы уловов крупнейших в мире стад пеляди, тугуна, чира, сига-пыжьяна [6]. Любые изменения, связанные с загрязнением и эвтрофированием, затрагивают автотрофное звено. Прогнозирование качества воды в водотоках невозможно без учета состояния основных компонентов биоты, прежде всего развития фитопланктона. Его биомасса относится к числу обязательных нормативных биологических показателей оценки качества воды [4].

Фитопланктон р. Северная Сосьва изучен недостаточно, имеется одна работа [1], в которой приводятся краткие сведения по видовому составу водорослей (39 таксонов), найденных в районе п. Березово (разовые сборы в 1970 г.). Для уточнения флористического разнообразия и распределения водорослей в русле реки проведены количественные исследования фитопланктона в нижнем течении р. Северная Сосьва. В настоящей работе излагаются результаты первых исследований фитопланктона уральского притока нижней Оби – р. Северная Сосьва. Приводятся данные по видовому составу, структуре, уровню количественного развития альгоценозов и сапробному состоянию водных масс.

Материал и методы. Северная Сосьва обследована на участке от п. Игрим (140–155 км) до п. Собоклонд (190–225 км) на двух разрезах (63° с. ш.) с трех станций (левый, правый берег и на середине) в период открытой воды (с мая по сентябрь) 2020–2022 гг. Сбор и обработка проб фитопланктона велись по общепринятым в альгологии методикам [3; 5]. Определение видового состава выполнено по отечественным определителям из серии «Определитель пресноводных водорослей СССР» с использованием монографий специалистов. В приводимом списке виды и разновидности внутри каждого отдела расположены по алфавиту. В доминирующий комплекс включены виды, биомасса которых составляет свыше 25 % от общей биомассы. Виды с биомассой более 10 % от общей отнесены к субдоминантам. Оценка сапробности вод по численности фитопланктона выполнена по методике Пантле и Букка в модификации Сладачека [7]. Класс чистоты вод определяли по индексу сапробности (S) и по величине биомассы [4; 5].

Результаты и обсуждение

Полный список видового состава фитопланктона и сведения о временной изменчивости структуры фитоценозов Северной Сосьвы приводятся впервые. По нашим данным, к настоящему времени альгофлора реки насчитывает 191 таксон видового и подвидового рангов из 82 родов, 51 семейства, 8 отделов: Cyanophyta (Cya), Chrysophyta (Chr), Bacillariophyta (Bac), Xanthophyta (Xan), Cryptophyta (Cry), Dinophyta (Din), Euglenophyta (Eug), Chlorophyta (Chl). Растительный планктон района исследований представлен различными экологическими группами, обитающими при довольно широком диапазоне температур. Фитопланктон отличается богатством диатомовых (39 % от общего состава) и зеленых (38 %). Представительность синезеленых (10 %) водорослей значительно ниже. Эвгленовые (5 %), золотистые (4 %), криптофитовые (2 %), динофитовые и желто-зеленые (по 1 %) заметной роли в планктоне не играли. Для планктона реки характерна сезонная динамика видового состава, заключающаяся в увеличении количества видов от весны (70 таксонов рангом ниже рода) к лету (165) и уменьшении в осенний период (137). Среди видов – индикаторов сапробности подавляющее число представителей умеренно загрязненных вод (табл. 1, 2).

Таблица 1. Таксономическая структура (число таксонов) альгофлоры р. Северная Сосьва

Отдел	Семейство	Род	Таксон	Индикаторы сапробности
Cyanoprocariota	7	11	20	16
Chrysophyta	3	4	7	4
Bacillariophyta	17	28	74	61
Xanthophyta	2	2	2	2
Cryptophyta	1	2	4	4
Dinophyta	2	2	2	0
Euglenophyta	1	4	9	5
Chlorophyta	18	29	73	49
Итого	51	82	191	141

Таблица 2. Альгофлора р. Северная Сосьва

Таксон	Весна	Лето	Осень	S
Cyanoprocariota (Cyanophyta)				
Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Breb.	+	+	+	β
A. spiroides Kleb.		+		o-β
A. lemmermanii P. Richt.		+		β
A. scheremetievi Elenk.		+	+	β
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs f. flos-aquae		+	+	β
Aph. flos-aquae f. klebanii Elenk.		+	+	β-o
Coelosphaerium kuetzingianum Näg.		+		β-o
Gomphosphaeria lacustris Chod. f. lacustris		+		β
Lyngbia limnetica Lemm.	+	+	+	o-β
Merismopedia tenuissima Lemm.		+		
Microcystis pulverea (Wood) Forti emend. Elenk. f. pulverea		+		o-β
M. pulverea f. delicatissima (W. et G. S. West) Elenk.		+		o-β
M. pulverea f. incerta (Lemm.) Elenk.		+		β
Oscillatoria granulata Gardner.		+	+	β-o
O. limnetica Lemm.		+		

Таксон	Весна	Лето	Осень	S
O. limosa (Ag.) Pascher		+		α-β
O. planctonica Woloss.		+	+	o-β
Phormidium Kütz. sp.		+	+	
Snowella rosea (Snow.) Elenk.		+		o-β
Spirulina Turp. sp.		+	+	
Euglenophyta				
Euglena acus Ehr.		+	+	β
E. oxyuris Schmarda.		+		
Phacus Duj. sp.		+		
Strombomonas Defl. sp.	+	+	+	
Trachelomonas granulosa Playf.	+	+		β
T. patellifera Popova		+		
T. planctonica Swir. f. planctonica		+	+	β-o
T. volvocina Ehr.	+	+	+	β
T. volvocinopsis Swir.		+	+	β
Cryptophyta				
Chroomas acuta Uterm.	+	+	+	α
Cryptomonas marssonii Skuja	+	+	+	o-β
C. reflexa (Marsson) Skuja	+	+	+	β-o
C. ovata Ehr.	+	+	+	α
Dinophyta				
Gymnodinium Stein sp.	+	+		
Peridinium Ehr. sp.	+	+	+	
Chrysophyta				
Dinobryon bavaricum Imh.	+			o
D. divergens Imh.	+	+	+	β
D. suecicum Lemm.		+	+	
Mallomonas coronata Boloch.	+	+	+	
M. elegans Lemm.		+		o-β
Synura uvella Ehr. emend. Korsch.	+	+	+	o-α
Stenokalyx laticollis Conr.		+		
Bacillariophyta				
Achnanthes Bory sp.		+		
Amphiprora ornata Bail.		+	+	β
Amphora ovalis Kütz.			+	α-β
A. ovalis var. pediculus Kütz.	+	+	+	β
Asterionella formosa Hass.	+	+	+	o-β
Aulacosira ambigua (Grun.) Sim. f. ambigua	+	+	+	β-o
A. distans (Ehr.) Sim.		+	+	x-o
A. alpigena (Grun.) Kram.	+	+	+	x-o
A. granulata (Ehr.) Sim. var. granulata	+	+	+	β
A. granulata var. angusstisima (O. Müll.) Sim.	+	+	+	β-α
A. islandica (O. Müll.) Sim. var. islandica		+	+	β
A. islandica ssp. helvetica (O. Müll.) Sim.		+		β
A. italica (Ehr.) Sim. var. italica	+	+	+	β-o
A. italica var. tenuissima (Grun.) Sim.	+	+	+	β
A. subarctica (O. Müll.) Haworth.		+	+	o-β
Ceratoneis arcus var. linearis Holmboe		+	+	

Таксон	Весна	Лето	Осень	S
Cocconeis Ehr. sp.	+	+	+	
Cyclotella Kütz. sp.	+	+	+	
C. meneghiniana Kütz.		+	+	α
Cymatopleura solea (Breb.) W. Sm.		+	+	β-α
Cymbella turgida (Greg.) Cl.	+	+	+	
C. ventricosa Kütz. var. ventricosa		+	+	x-α
Diatoma elongatum (Lyngb.) Ag. var. elongatum		+	+	o-β
D. tenuis Ag.		+	+	
Didymosphenia geminate (Zyngb.) M. Schmidt	+			o-x
Diploneis Ehr. sp.	+	+	+	
Epithemia Breb. sp.	+	+	+	
E. turgida (Ehr.) Kütz. var. turgida		+		β
Eunotia exiqua var. compacta Hust.			+	
E. lunaris (Ehr.) Grun. var. lunaris	+			o
E. praerupta Ehr. praerupta			+	x-o
E. praerupta var. biders (Ehr.) Grun.		+		
E. sibirica Cl.	+			
Fragilaria capucina Desm.	+	+	+	β
Fr. construens (Ehr.) Grun.		+	+	o-β
Fr. crotonensis Kitt.	+	+	+	o-β
Fr. pinnata Ehr.		+	+	β-α
Gomphonema Ag. sp.	+	+	+	
G. acuminatum Ehr. var. acuminatum			+	o-β
G. acuminatum var. coronatum (Ehr.) W. Sm.	+			β
G. constrictum Ehr. var. constrictum			+	
G. olivaceum (Lyngb.) Kütz. var. olivaceum		+	+	β
Gyrosigma acuminatum (Kütz.) Rabenh.		+	+	β
Melosira varians Ag.		+	+	β
M. undulata (Ehr.) Kütz.	+	+	+	β
Meridion circulare Ag.	+			x-o
Navicula cryptocephala Kütz.		+	+	α
N. gastrum Ehr.	+		+	β
N. pupula Kütz.	+	+	+	β
N. radiosa Kütz.	+	+	+	o-β
N. rhynchocephala Kütz. var. rhynchocephala		+	+	α
Nitzschia acicularis W. Sm.		+	+	α
N. dissipata (Kütz.) Grun.		+		o-β
N. gracilis Hantzsch		+	+	β
N. holsatica Hust.	+	+	+	β
N. kuetzingiana Hilse	+	+	+	β
N. linearis W. Sm.	+		+	o-β
N. palea (Kütz.) W. Sm.	+	+	+	α
N. tryblionella var. levidensis (W. Sm.) Grun.	+	+	+	
N. vermicularis (Kütz.) Grun.			+	β
Pinnularia gibba Ehr.	+	+	+	x
P. mesolepta (Ehr.) W. S. f. mesolepta	+		+	o
Rhopalodia gibba (Ehr.) O. Müll.	+	+		o
Stephanodiscus binderanus Kütz.	+	+	+	β

Таксон	Весна	Лето	Осень	S
St. hantzschii Grun.	+	+	+	α
Surirella ovata Kütz.			+	β
S. robusta var. splendida Ehr.	+	+	+	β
S. tenera Greg. var. tenera		+	+	β
Synedra acus var. angustissima Grun.		+	+	o-β
S. acus var. radians (Kütz.) Hust.	+	+	+	o
S. ulna var. danica (Kütz.) Grun.	+	+	+	β-o
S. ulna (Nitzsch.) Ehr. var. ulna	+	+	+	o-α
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.	+	+	+	x-β
T. flocullosa (Roth) Kütz.	+	+	+	o-x
Xanthophyta				
Centritractus belonophorus Lemm.	+	+	+	o-β
Tribonema angustissimum Pasch.			+	o
Chlorophyta				
Actinastrum hantzschii Lagerh. var. hantzschii		+	+	β
A. hantzschii var. gracile Roll.		+	+	
Ankistrodesmus acicularis Korsch.	+	+	+	β
A. angustus Bern.		+	+	
A. arcuatus Korsch.		+	+	
A. falcatus (Corda) Ralfs var. falcatus		+		β-α
A. fusiformis Corda			+	β-o
A. longissimus (Lemm.) Wille var. longissimus			+	o-β
A. longissimus var. acicularis (Chod.) Brunnth.	+	+	+	
A. pseudomirabilis Korsch.		+	+	β
A. pseudomirabilis var. spiralis Korsch.	+	+	+	β
Chlamydomonas Ehr. sp.	+	+	+	
Ch. conferta Korsch.			+	β-o
Ch. incerta Pasch.	+	+	+	α
Chlorella vulgaris Beijer.		+	+	α-p
Closterium acerosum f. minus (Hantzsch) Kossinsk.			+	α
C. acutum (Lyngb.) Breb.		+		o-β
C. cornu Ehr.			+	x-β
C. gracile Breb.		+		
C. peracerosum Gay		+		β
Coelastrum microporum Näg.		+	+	β
C. reticulatum (Dang.) Senn.	+			
C. sphaericum Näg.		+	+	o
Cosmarium Corda sp.		+	+	
Crucigenia apiculata Schmidle		+	+	β
C. fenestrata Schmidle		+	+	β
C. quadrata Morren		+		β-o
C. tetrapedia (Kirchn.) W. et W.	+	+	+	o-β
Didymocystis linearis Korsch.		+	+	
D. planctonica Korsch.	+	+	+	β
Dictyosphaerium pulchellum Wood var. pulchellum	+	+	+	β
D. pulchellum var. ovatum Korsch.		+	+	β
Elakatothrix genevensis (Roverd.) Hind.		+	+	β
Kirschneriella intermedia Korsch. var. intermedia		+		

Таксон	Весна	Лето	Осень	S
K. lunaris (Kirchn.) Moeb. var. lunaris		+	+	β
K. obesa (W. West) Schmidle		+	+	β
Lagerheimia genevensis Chod.		+	+	β
Micractinium pusillum Fresen		+	+	β
Monoraphidium komarkovae (Nyg.)		+	+	
M. minutum (Näg.) Kom.-Legn.		+		
Mougeotice elegantula Wittrock		+		
Oocystis Näg. sp.		+		
Pandorina morum (O. Müll.) Bory		+	+	β
Pediastrum boryanum (Turp.) Menegh.		+	+	β
P. duplex Meyen var. duplex		+	+	β
P. tetras (Ehr.) Ralfs var. tetras		+		о-α
P. tetras var. tetraedron (Corda) Rabenh.		+	+	β
Pteromonas angulosa (Carter.) Lemm.	+	+	+	β
Scenedesmus acuminatus (Lagerh.) Chod. var. acuminatus		+	+	β
S. bicaudatus (Hansg) Chod		+	+	
S. bijugatus (Turp.) Kütz.		+	+	о-β
S. cuneatus Skabitsch.		+	+	
S. denticulatus Lagerh. var. denticulatus		+		
S. incrassatulus Bohl.	+	+		
S. obliguus (Turp.) Kütz.			+	β
S. obliguus var. alternans Christ.		+		
S. parvus (G. M. Smith) Boutt. et Mang.		+		
S. quadricauda var. abundans Kirchn.		+	+	β
S. quadricauda var. eualternans Proschk.		+		
S. quadricauda var. longispina (Chod.) G. M. Smith		+	+	
S. quadricauda (Turp.) Breb. var. quadricauda	+	+	+	β
Schoederia setigera (Schroed.) Lemm.		+		β-о
Spirogyra tenuissima (Hass.) Kütz.			+	β
Sphaerocystis planctonica (Korsch.) Bourr.		+		
Sph. schroeteri Chod.		+		о
Staurastrum Meyen sp.		+		
Tetraedron incus (Teiling.) G. M. Smith.		+		β
T. minimum (A. Br.) Hansg.		+		β
Tetrastrum glabrum (Roll.) Ahlstr. et Tiff.	+	+	+	β
T. elegans Playf.			+	о-β
T. punctatum (Schmidle) Anlstr. et Tiff		+		β
Ulothrix subtilissima Rabenh.		+	+	х-α
Westella botryoides (W. West) De Wild.		+		β

Примечание: S – показатель сапробности: х – ксеносапробы; о – олигосапробы; β – бета-мезосапробы; α – альфа-мезосапрбы; р – полисапрбы.

Для фитопланктона реки характерна сезонная динамика численности (N) и биомассы (B), заключающаяся в нарастании их от весны к лету и уменьшении в осенний период, что обусловлено в основном термическим режимом и световыми условиями в водоеме. Весной планктон носит диатомовый характер (в среднем 66 % численности и 74 % биомассы) с присутствием золотистых водорослей (13 % численности и 9 % биомассы) и криптомонад (7 % численности и 7 % биомассы).

Ведущая роль принадлежала A. italica + et var. (до 24 % численности и до 23 % биомассы), ей сопутствовали золотистые водоросли D. divergeus (до 17 % численности и до 14 % биомассы) и S. uvella (до 10 % численности). Из криптомонад встречены представители органического загрязнения – виды рода Cryptomonas (до 12 % численности). Уровень развития весенних альгоценозов невысокий. Средняя биомасса составила 0,08 мг/л, численность – 122 тыс. кл./л (табл. 3).

Таблица 3. Некоторые показатели фитопланктона р. Северная Сосьва

Сезон	n	N, тыс. кл./л	B, мг/л	S	Класс чистоты	Доминанты, % от N и от B
Весна	69	$\frac{122}{14-314}$	$\frac{0,08}{0,02-0,19}$	1,39–1,87	II–III	Bac 66 N и 74 B, Chr 13 N и 9 B, Cry 7 N и 7 B
Лето	160	$\frac{2912}{2564-3580}$	$\frac{0,53}{0,45-0,64}$	1,38–1,48	II	Bac 52 N и 77 B, Cya 33 N, Chl 13 N
Осень	139	$\frac{562}{290-931}$	$\frac{0,22}{0,10-0,44}$	1,63–1,90	III	Bac 58 N и 85 B, Chl 27 N, Cry 9 N и 9 B

Примечание: n – число видов; в числителе – среднее, в знаменателе – пределы;
S – сапробный индекс.

Наибольшего видового разнообразия и обилия фитопланктон достигает летом, в основном за счет вегетации диатомовых (в среднем 52 % численности и 77 % биомассы). Формирование летнего комплекса выразилось в увеличении роли синезеленых (33 % численности) водорослей, чему способствовало прогревание вод и уменьшение влияния обских вод. В летнем планктоне доминировали центрические диатомовые A. distans (21 % численности и 17 % биомассы) и A. italica + et var. (14 % численности и 16 % биомассы), пеннатная диатомея – A. formosa (22 % биомассы), из синезеленых – Aph. + flos-aquae f. klebanii (16 % численности) и Anabaena sp. (12 % численности). В толще воды постоянно присутствовали зеленые (13 % численности) водоросли, представители порядка Chlorococcales. Пик развития фитопланктона отмечен в летний период. Максимальная численность достигла 3580 тыс. кл./л, биомасса – 0,64 мг/л.

Осенью уровень развития растительного планктона, в связи со снижением солнечной радиации и понижением температуры воды, заметно понизился по сравнению с летом. Средняя численность упала с 2912 до 562 тыс. кл./л, биомасса – с 0,53 до 0,22 мг/л. Диатомовые водоросли сохраняют господствующее положение в планктоне (58 % численности и 85 % биомассы), повышается ценотическая значимость зеленых (27 % численности), появляются представители органического загрязнения – криптомонады (9 % численности и 9 % биомассы). Структура летнего доминирующего комплекса изменилась. В осеннем фитоценозе стали превалировать виды рода Fragilaria (14 % численности и 19 % биомассы), A. islandica (20 % биомассы), D. tenuis (13 % численности), им сопутствовали протококковые водоросли и виды рода Cryptomonas. Для осеннего периода характерно общее равномерное снижение вегетации водорослей при однородности состава.

За период наблюдений в р. Северная Сосьва выявлено 141 вид – индикатор органического загрязнения (74 % от общего числа видов). Виды – индикаторы умеренного загрязнения (x-α, β-o, o-α, β, β-α) составляют 61 % от общего числа видов-сапробионтов, чистых вод (o-x, x-β, o, o-β) – 26 %, загрязненных вод (α, α-β, α-p) – 9 %, очень чистых (x, x-o) – 4 %. Присутствие представителей загрязненных вод и незначительное чистых, возможно, связано с антропогенным воздействием на экосистему реки. В период исследований индекс сапробности изменялся от 1,39 до

1,90. Согласно комплексной эколого-санитарной классификации поверхностных вод суши [4], санитарно-биологическое состояние речной воды р. Северной Сосьвы соответствует II–III классу чистоты вод, разряд 2в–3а (вполне чистая – достаточно чистая), характеризующееся умеренным загрязнением органическим веществом (зона олигосапробная – бета-мезосапробная). Отмечена сезонная динамика индекса сапробности. Уменьшение сапробности вод в летний период можно объяснить наличием процессов самоочищения. Оценка качества воды по величине средней биомассы (от 0,08 до 0,44 мг/л) свидетельствует, что вода р. Северная Сосьва соответствует II классу чистоты вод, разряд – 2а (очень чистая). При биомассе до 5 мг/л водоросли способствуют самоочищению водных масс, благодаря этим процессам река пока самостоятельно справляется с поступающим загрязнением.

Заключение

Материалы оригинальных научных исследований одного из уральских притоков нижней Оби позволили впервые идентифицировать в планктоне горной реки Северная Сосьва 191 таксон видового и внутривидового рангов из 82 родов, 51 семейства и 8 систематических отделов, при наибольшем разнообразии диатомовых (39 % от общего состава) и зеленых (38 %) водорослей. По структуре и обилию фитоценоз диатомовый, ценотическая значимость синезеленых проявляется в более теплый летний период, зеленых – позднелетний и осенний. Несмотря на богатое флористическое разнообразие, уровень развития фитопланктона невысокий, что вполне согласуется с материалами исследований по другим уральским притокам р. Обь [8]. Данные, полученные на основе анализа видового состава, величины биомассы (до 5 мг/л), сапробности водных масс (S = 1,39–1,90) свидетельствуют о высокой самоочищающей способности экосистемы нерестовой реки Северная Сосьва, пока самостоятельно справляющейся с поступающим загрязнением. Санитарно-биологичесское состояние речной воды р. Северная Сосьва соответствует II–III классу чистоты вод, разряд качества – 2а–3а (очень чистая – достаточно чистая). Однако усиливающееся антропогенное воздействие на экосистему реки требует постоянного мониторингового контроля.

Список литературы

1. *Куксн, М.С.* Водоросли Оби и ее поймы / М.С. Куксн, Г.Д. Левадная, Т.Г. Попова, Т.А. Сафонова // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: СО АН СССР, 1972. – Ч. 2 (4). – С. 3–44.

2. *Лезин, В.А.* Реки Ханты-Мансийского автономного округа / В.А. Лезин. – Тюмень: Вектор-Бук, 1999. – 160 с.

3. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – 240 с.

4. *Оксиюк, О.П.* Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк, В.Н. Жукинский, Л.И. Брагинский, П.Н. Линник, М.И. Кузьменко, В.Г. Кленус // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 4. – С. 62–76.

5. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 239 с.

6. *Слепокуров, М.В.* О запасах карповых и других видов рыб бассейна реки Северная Сосьва / М.В. Слепокуров // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2001. – Вып. 2 – С. 23–26.

7. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. Приложение 1. Индикаторы сапробности. – М.: Секретариат СЭВ, 1977. – 91 с.

8. *Богданов, В.Д.* Экологическое состояние притоков Нижней Оби (реки Сыня, Войкар, Собь) / В.Д. Богданов, Е.Н. Богданова, О.А. Госькова, Л.Н. Степанов, М.И. Ярушина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 136 с.

УДК 574.5

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОНА И ЗООБЕНТОСА ВОДОЁМОВ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЯКУТИИ

Л. И. Сидорова
Якутский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», г. Якутск, Россия
kuzmina_lena_in@inbox.ru

Аннотация. В работе приведены видовой состав, количественные показатели, степень различия и сходства зоопланктона и зообентоса рек и озер арктического, субарктического и умеренного поясов Якутии. Всего исследованиями охвачено 24 водных объекта, расположенных в трех климатических зонах. По результатам исследований в составе зоопланктона арктического пояса было выявлено 127 видов, субарктического - 66 видов, умеренного - 103 вида. Состав донной фауны арктического пояса состоял из 55 таксонов, субарктического - 23 таксонов, умеренного - 79 таксонов. Количественные показатели варьировали в широком диапазоне. Максимальные количественные показатели зоопланктона были отмечены в летний период в озёрах субарктического пояса (42974 экз./м^3 и 6,37 г/м^3), минимальные – в озёрах умеренного пояса в зимний период (59 экз./м^3 и 0,001 мг/м^3). Максимальная численность зообентоса была отмечена в озёрах субарктического пояса (до 17005 экз./м^2) и максимальная биомасса в озёрах умеренного пояса (до 628,94 г/м^2). Минимальные значения отмечены в реках арктического пояса (38 экз./м^2 и 1,90 г/м^2). Доминирующее положение в озёрах занимали копеподы, из организмов зообентоса наиболее чаще встречались олигохеты и личинки хирономид. Таким образом, в формировании сообществ зоопланктона и зообентоса в исследованных водных объектах играют биотические и абиотические факторы.

Ключевые слова: Зоопланктон, водоемы, климатические пояса, Якутия, гидробиология

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL FEATURES OF ZOOPLANKTON AND ZOOBENTHOS IN WATER BODIES OF DIFFERENT CLIMATIC ZONES OF YAKUTIA

L. I. Sidorova
Yakut branch of Federal state budgetary scientific institute «All-Russian research institute of fisheries and oceanography», Yakutsk, Russia, kuzmina_lena_in@inbox.ru

Summary. The work presents the species composition, quantitative indicators, degree of difference and similarity of zooplankton and zoobenthos of rivers and lakes of the arctic, subarctic and temperate climatic zones of Yakutia. In total, the research covered 24 water bodies located in three climatic zones. According to the research results, 127 species were identified in the zooplankton of the arctic zone, 66 species of the subarctic, and 103 species of the temperate zone. The composition of the benthic fauna of the arctic zone consisted of 55 taxa, subarctic - 23 taxa, temperate - 79 taxa. Quantitative indicators varied over a wide range. The maximum quantitative indicators of zooplankton were noted in summer in lakes of the

subarctic zone (42974 specimens/m^3 and 6.37 g/m^3), the minimum in lakes of the temperate zone in winter (59 specimens/m^3 and 0.001 mg/m^3). The maximum abundance of zoobenthos was noted in lakes of the subarctic zone (up to 17,005 specimens/m^2) and the maximum biomass in lakes of the temperate zone (up to 628.94 g/m^2). The minimum values were noted in rivers of the Arctic zone (38 specimens/m^2 and 1.90 g/m^2). The dominant position in the lakes was occupied by copepods; the most common zoobenthos organisms were oligochaetes and chironomid larvae. Thus, biotic and abiotic factors play a role in the formation of zooplankton and zoobenthos communities in the studied water bodies.
Keywords: Zooplankton, reservoirs, climatic zones, Yakutia, hydrobiology

Республика Саха (Якутия) является крупнейшим регионом России, площадью 3,1 млн км^2, где господствуют экстремальные природно-климатические условия. Основная территория расположена в зоне многолетней мерзлоты, а климатические пояса подразделяются на арктический, субарктический и умеренный.

Актуальность. Расположенные в зоне антропогенной деятельности, водные объекты представляют большой интерес в гидрологическом, гидробиологическом, гидрохимическом аспектах и в рыбной отрасли. Оценка состояния и мониторинг озер и рек имеет важное значение в санитарно-эпидемиологическом аспекте, рыбохозяйственной отрасли и научно-исследовательских целях.

Большую ценность представляет знания о сообществах, развивающихся в уникальном природно-ландшафтном комплексе Якутии. Изученность зоопланктонного сообщества и донной фауны водных объектов в разных климатических поясах Якутии в настоящее время неполноценна, большое количество озер и рек, их труднодоступность осложняют проведение исследований.

Целью настоящей работы является определить структурные и функциональные особенности зоопланктона и зообентоса водных объектов в разных климатических поясах Якутии.

Материалы и методы

В ходе исследований были использованы общепринятые методики сбора и обработки зоопланктона и зообентоса [1; 3; 4; 6; 15; 20-23; 26]. Методологической основой при проведении исследования послужили научные труды российских и зарубежных ученых по зоопланктонным сообществам и донной фауне водных объектов разных климатических поясов и в зоне многолетней мерзлоты.

Сборы зоопланктона и зообентоса осуществляли в разные сезоны года с 2013-2021 гг. Всего собственными исследованиями охвачено 24 водных объекта, из них 5 рек и 3 озера в арктическом поясе, 7 озёр и 2 реки в субарктическом поясе, 7 озёр и 1 река в умеренном климатическом поясе. Станций отбора проб на исследованных озерах было от 1-8. Общий объем обработанного материала составляет 327 проб зоопланктона и 261 проба зообентоса. Краткая характеристика исследованных озёр и рек разных климатических поясов Якутии приведены в таблице 1.

Таблица 1. Краткая характеристика исследованных озёр и рек разных климатических поясов Якутии

№	Название	Расположение	Тип	Показатели
Арктический пояс				
1	Бырангаталах	Усть-Янский район, нижнее течение р. Яна	Термокарстовое озеро	Площадь 2,43 км^2
2	Без названия 1	Нижнее течение р. Лена		Площадь 0,219 км^2
3	Без названия 2			Площадь 0,184 км^2
4	Лена	Нижнее течение, Булунский район	Река	-

5	Яна	Нижнее течение, Усть-Янский район		-
6	Колыма	Нижнее течение, Нижнеколымский район		-
7	Маят	Анабарский район, бассейн р. Анабар		Длина 115 км, площадь водосбора – 1030 км^2
8	Индигирка	Нижнее течение, Аллаиховский район		-
Субарктический пояс				
9	Таганья	Верхнее течение р. Индигирка, Оймяконский район	Термокарстовое	Площадь 0,06 км^2, глубина озера 2 м
10	Юрта-Романова			Площадь 0,085 км^2, глубина озера 3 м
11	Эбэ-Куель			Площадь 0,04 км^2, глубина озера 1 м
12	Орто-Алысардах			Площадь 0,17 км^2, Глубина озера 10,1 м
13	Ючюгей			Площадь 0,045 км^2, глубина озера 1,6 м
14	Ниджили	Кобяйский район, бассейн р. Вилюй	термокарстовое	Глубина 2,96 м, площадь – 119,0 км^2
15	Бырангатталаах-Кюель		тукулановое	Глубина 2,8 м, площадь – 36,29 км^2
16	Малые Кидерики	Алданский район, бассейн р. Алдан	Река	Длина 33 км, площадь водосбора – 154 км^2
17	Тыры			Длина 327 км, площадь водосбора – 14 тыс. км^2
Умеренный пояс				
18	Усун-Эбэ	Городской окург г. Якутск, бассейн среднего течение р. Лена	старичное	Глубина 3-5 м, площадь – 0,58 км^2
19	Тёплое		старичное	Глубина 1,5 м, площадь – 0,137 км^2
20	Синньигэс		старичное	Глубина 2-6 м, площадь – 0,409 км^2
21	Туой		термокарстовое	Глубина 1-3 м, площадь – 0,15 км^2
22	Сугун		термокарстовое	Глубина 1,12 м, площадь – 0,52 км^2
23	Онёр-Эбэ	Усть-Алданский район, бассейн среднего течения р. Лена	термокарстовое	Глубина 10 м, площадь – 8,54 км^2
24	Таргылдьима		термокарстовое	Глубина 3-6 м, площадь – 4,34 км^2
25	Лена	Среднее течение, ГО г. Якутск	Река	-

Водные объекты умеренного пояса являются наиболее изученными в связи с развитой транспортной логистикой [2; 8; 10-14; 16-19; 24; 25; 27-30]. В фаунистическом

составе зоопланктона исследованных водных объектов умеренного пояса Якутии было обнаружено 103 вида, из которых 47 видов составляли коловратки (Rotatoria), 29 видов ветвистоусые ракообразные (Cladocera), 26 видов веслоногие ракообразные (Copepoda) и 1 вид листоногих ракообразных (Phyllopoda).

Наибольшее видовое разнообразие было отмечено в среднем течении р. Лена (61), озерах Усун-Эбэ (33), Теплое (30), Онер-Эбэ (24) и Синньигэс (22). В других озерах (Туой - 16, Сугун – 10, Таргылдьима – 15) видовой состав был беднее.

Доминирующее положение в видовом составе арктического и умеренного поясов занимали коловратки, в субарктическом – ветвистоусые ракообразные (рис. 1).

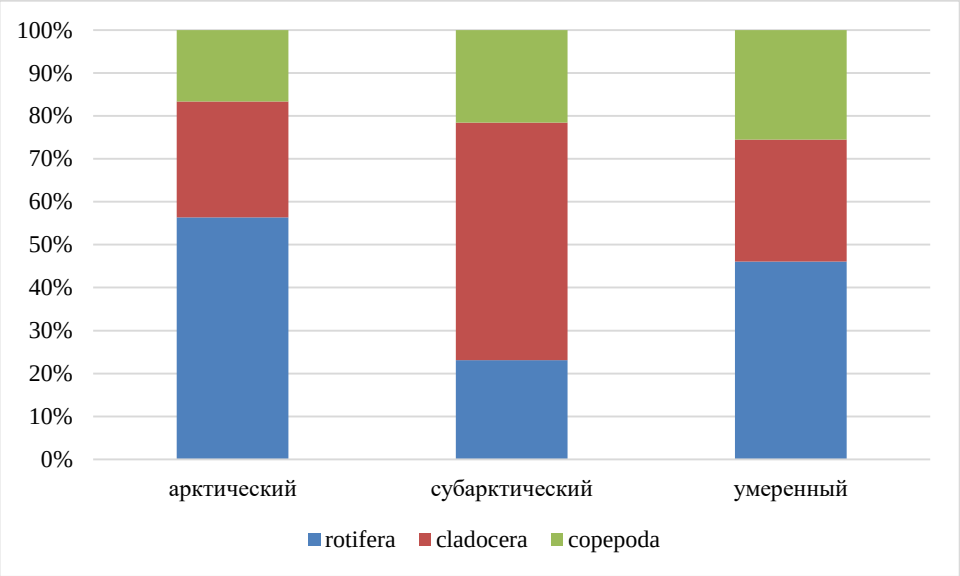


Рис. 1. Распределение групп зоопланктона

Количественные показатели зоопланктона исследованных водных объектов варьируют в широких пределах (табл. 2).

Таблица 2. Количественные показатели зоопланктона исследованных водных объектов

Название водного объекта	Численность, экз./м^3	Биомасса, мг/м^3
Арктический пояс		
Озёра		
Бырангаталах (зима)	4250	0,216
Без названия 1 (лето)	4433	193,597
Без названия 2 (лето)	27080	2447,388
Реки		
Лена (осень)	270	1,765
Яна (осень)	2635	38,196
Индигирка (осень)	4050	14,130
Колыма (осень)	1763	9,818
Маят (лето)	5442	66,377
Субарктический пояс		
Озёра		
Ниджили (лето)	143980	2531,507

Ниджили (зима)	38438	1,453
Бырангатталаах-Куель (лето)	11118	292,484
Таганья (лето)	6800	171,201
Юрта-Романова (лето)	42973	6370,272
Эбэ-Куель (лето)	52693	1012,231
Орто-Алысардах (лето)	46337	5097,206
Ючюгей (лето)	129120	3542,191

Продолжение табл. 2

Реки		
Малые Кидерики (лето)	292	0,512
Тыры (лето)	175	7,189
Умеренный пояс		
Озера		
Усун-Эбэ (весна)	26921	1,504
Усун-Эбэ (лето)	62385	2,389
Усун-Эбэ (осень)	160790	4,111
Тёплое (весна)	3307	0,171
Тёплое (лето)	15056	0,493
Синньигэс (весна)	4900	0,034
Синньигэс (лето)	56473	1,150
Синньигэс (осень)	255000	2,474
Синньигэс (зима)	59	0,001
Туой (лето)	96700	1,175
Сугун (лето)	28500	0,325
Таргылдьима (лето)	59800	3,052
Онёр-Эбэ (зима)	49316	0,239
Река Лена		
Берег (весна)	19617	0,261
Берег (лето)	7455	0,145
Берег (осень)	11065	0,060
Фарватер (весна)	2971	0,036
Фарватер (лето)	18161	0,398
Фарватер (осень)	89	0,001
Придаточная система (весна)	71200	5,282
Придаточная система (лето)	8671	0,123
Придаточная система (осень)	10625	0,022

Максимальные показатели достигали до 255 тыс. экз./м^3 по плотности и до 6370,272 мг/м^3 по биомассе. Стоит отметить, что высокие показатели организмов

зоопланктона в озёрах были определены за счет массового развития ветвистоусых и неполовозрелых стадий веслоногих ракообразных в период исследований (до 21181 экз./м^3 и до 6268,64 мг/м^3).

Минимальные показатели отмечены в зимний период (59 экз./м^3 и 0,001 мг/м^3).

Количественные показатели зоопланктона озёр растут по мере повышения температуры воды в теплый период года. В зимний период высокая плотность сохраняется при снижении общей биомассы за счёт обилия коловраток и низкой плотности ракообразных (рис. 2, 3).

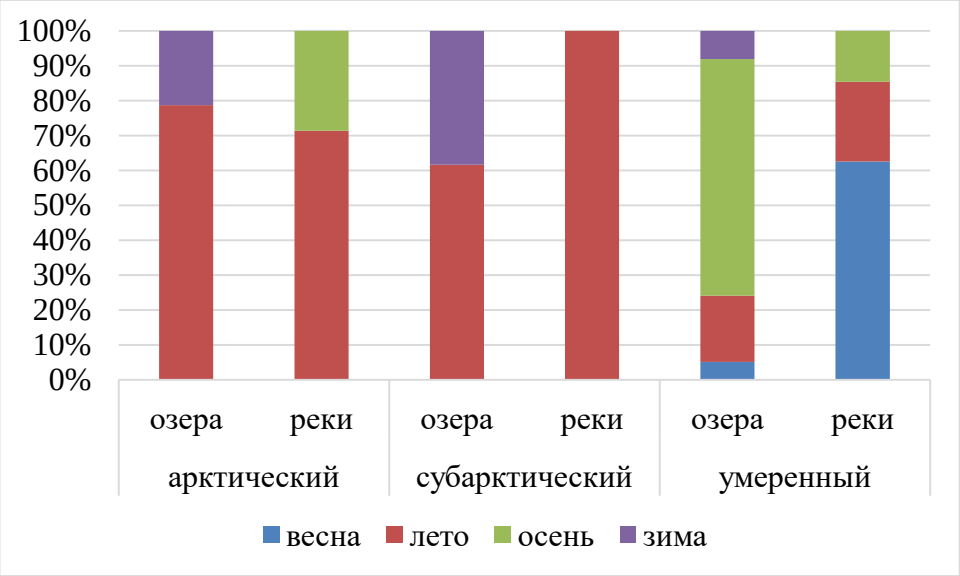


Рис. 2. Процентное соотношение численности зоопланктона, %

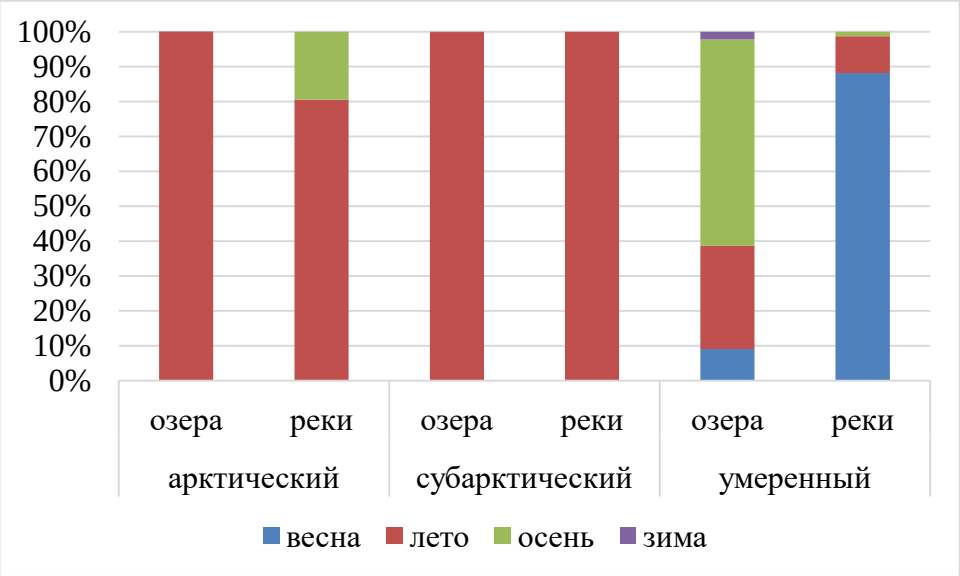


Рис. 3. Процентное соотношение биомассы зоопланктона, %

В водных объектах арктического и субарктического поясов максимальный рост зоопланктона был выявлен в летнее время, в умеренном больший рост отмечен в осенний и весенний период. Это связано с ранним прогревом воды в умеренном поясе, что обуславливает рост организмов в весенний период. Вегетационный период зоопланктона умеренного пояса более растянут по сравнению с зоопланктоном арктического и субарктического поясов, где короткий период вегетации приходится только на летний период.

Таким образом, в видовом составе зоопланктона исследованных водных объектов присутствуют широко распространенные, эврибионтные, палеарктические виды, с доминированием коловраток. Качественный состав в олиготрофных, изолированных, удалённых от населённых пунктов озёрах беден. Напротив, в проточных озерах и реках поступление биогенов, формирование разнотипных биотопов (прогрев верхних слоёв при низких температурах в профундали) создают благоприятные условия для развития организмов зоопланктона.

Зообентос. Состав донной фауны водных объектов арктического пояса представлен 55 таксонами, принадлежащих 11 группам бентоса – олигохеты (1), пиявки (2), моллюски (14), жуки (5), водные клещи (1), членистоногие (3), личинки двукрылых (4), хирономид (12), поденок (2), веснянок (1) и ручейников (8).

Наибольшее число видов было обнаружено в реках Яна и Колыма, остальные исследованные водные объекты содержали не более 10 видовых и надвидовых групп.

В бентофауне водных объектов арктического пояса доминирующее положение занимают олигохеты, моллюски и личинки хирономид. Другие группы имеют локальное распределение.

Состав донной фауны водных объектов субарктического пояса представлен 23 таксонами, принадлежащих 10 группам бентоса - олигохеты (1), пиявки (2), моллюски (3), жуки (2), членистоногие (1), личинки двукрылых (4), стрекоз (2), хирономид (4), подёнок (2), веснянок (1) и ручейников (1).

В формировании бентофауны водных объектов субарктического пояса определяющую роль играет характер биотопа. В илистых грунтах преобладают олигохеты и личинки хирономид, в песчаных и каменистых грунтах смена доминант происходит в сторону организмов, более чувствительных к содержанию кислорода, таких как гаммарусы, личинки подёнок, веснянок и других амфибиотических насекомых.

Состав донной фауны водных объектов умеренного пояса представлен 79 таксонами, принадлежащих 12 группам бентоса - олигохеты (4), пиявки (6), моллюски (26), жуки (5), водные клещи (1), членистоногие (3), личинки двукрылых (5), стрекоз (4), хирономид (13), подёнок (7), веснянок (1) и ручейников (4).

Максимальная плотность и биомасса зообентоса была отмечена в озере без названия 2 за счет обилия олигохет, минимальные в реке Маят (табл. 3).

Таблица 3. Количественные показатели зообентоса исследованных водных объектов

Название водного объекта	Численность, экз./м^2	Биомасса, г/м^2
Арктический пояс		
Озёра		
Бырангаталах (зима)	337	17,12
Без названия 1 (лето)	80	3,44
Без названия 2 (лето)	2280	96,48
Реки		
Лена (осень)	544	19,43
Яна (осень)	154	36,70
Индигирка (осень)	820	17,94
Колыма (осень)	417	54,05
Маят (лето)	38	1,90
Субарктический пояс		

Озёра		
Ниджили (зима)	893	82,68
Бырангатталаах-Куель (лето)	292	6,94
Таганья (лето)	225	0,73
Юрта-Романова (лето)	775	5,7
Эбэ-Куель (лето)	17005	22,48
Орто-Алысардах (лето)	2800	11,76
Ючюгей (лето)	350	2,05
Реки		
Малые Кидерики (лето)	700	10,0

Продолжение табл. 3

Тыры (лето)	377	1,59
Умеренный пояс		
Озера		
Усун-Эбэ (весна)	1079	628,94
Усун-Эбэ (лето)	741	204,23
Усун-Эбэ (осень)	568	518,95
Тёплое (весна)	833	277,23
Тёплое (лето)	570	180,20
Синньигэс (весна)	413	71,58
Синньигэс (лето)	280	252,6
Синньигэс (осень)	180	81,77
Синньигэс (зима)	1600	614,4
Туой (лето)	493	58,75
Сугун (лето)	93	8,39
Таргылдьима (лето)	1227	63,43
Онёр-Эбэ (зима)	51	25,78
Река Лена		
Весна	1067	73,90
Лето	1984	184,05
Осень	7423	501,40

В процентном соотношении, высокая доля по плотности зообентоса приходится на умеренный пояс в весенний и осенний период, субарктический в летний и зимний период (рис. 4).

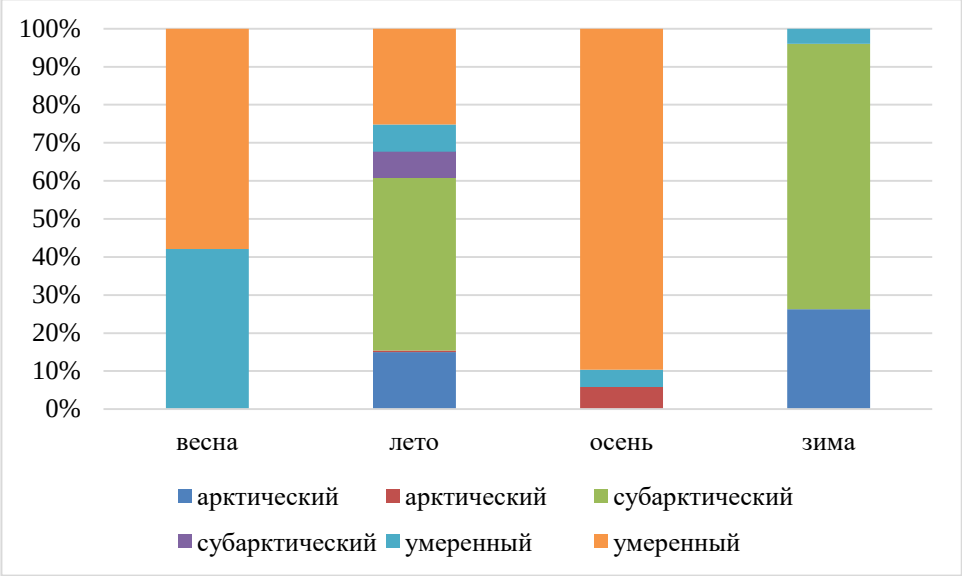


Рис. 4. Процентное соотношение численности зообентоса, %

Основную долю по биомассе занимает зообентос умеренной зоны и только в зимний период отмечено преобладание зообентоса субарктической зоны в зимнее время (рис. 5).

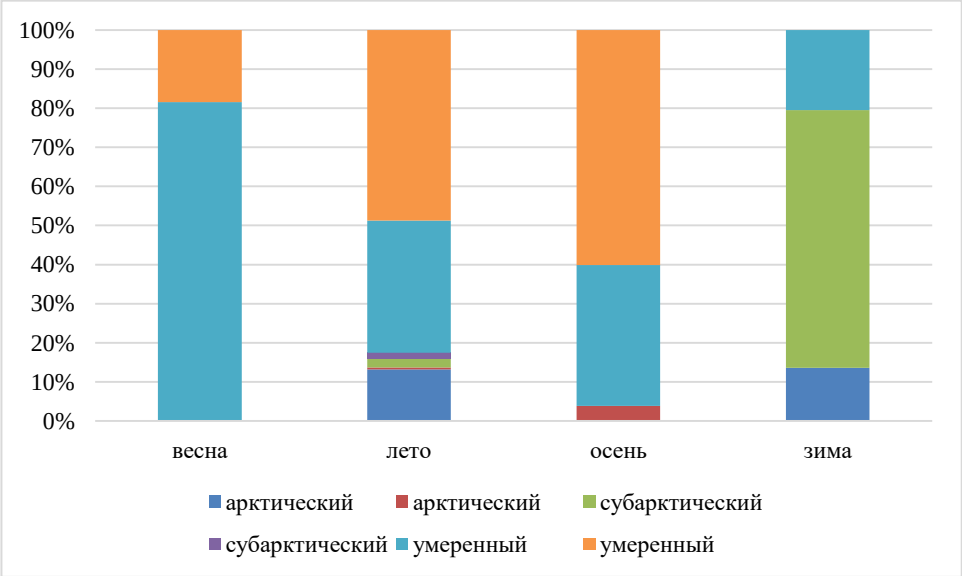


Рис. 5. Процентное соотношение биомассы зообентоса, %

Формирование бентофауны исследованных водных объектов зависит от гидрологических параметров (прогрев воды, глубина, движение воды) и характера биотопа. Максимальные рост и развитие организмов в озёрах приходится на весенний период, а в реке – на осенний. Это связано с массовым развитием в весенне-летний период личинок амфибиотических насекомых в озёрах, и затем спад в связи с их уменьшением к осени. В речной системе, с более медленным прогревом воды, наблюдается постепенное увеличение продукции с весны к осени.

Заключение

Состав фауны зоопланктона исследованных водных объектов разных климатических поясов Якутии имеет сходства и различия, обусловленные общими и отличительными факторами (изолированность и проточность водоемов, глубина и разнотипность биотопов, поступление биогенов и органических веществ). В видовом

составе преобладают широко распространенные палеарктические, эврибионтные виды, с доминированием коловраток и кладоцер. В зависимости от удалённости водных объектов от населённых пунктов и снижения антропогенного воздействия отмечается понижение количественных и качественных показателей зоопланктона. Данный фактор обусловлен ростом организмов зоопланктона при повышении поступления биогенных веществ и, наоборот, снижения в олиготрофных водных объектах. В целом, для озёр характерна прогрессивная динамика численности и биомассы организмов с повышением температуры и снижением при похолодании. Для речной системы колебания плотности зоопланктона в сторону роста или снижения зависят также от степени прогрева воды и пресса хищных форм.

Состав фауны зообентоса исследованных водных объектов разных климатических поясов Якутии имеет сходства и различия, обусловленные общими и отличительными факторами (изолированность и проточность водоёмов, глубина и разнотипность биотопов, поступление биогенов и органических веществ). Распространенной группой организмов являются моллюски, олигохеты и личинки хирономид. В зависимости от удалённости водных объектов от населённых пунктов и снижения антропогенного воздействия отмечается понижение количественных и качественных показателей. Данный фактор обусловлен ростом организмов зообентоса при высокой концентрации биогенов и, наоборот, снижения в олиготрофных водных объектах. В целом, для озёр характерна прогрессивная динамика численности и биомассы организмов с повышением температуры и снижением при похолодании. Для речной системы колебания плотности зообентоса в сторону роста или снижения зависят также от степени прогрева воды и пресса хищных форм.

Благодарности. *Автор выражает искреннюю благодарность и признательность научному руководителю – доктору биологических наук, профессору кафедры водных биоресурсов и аквакультуры ГАУ Северного Зауралья Людмиле Ильиничне Литвиненко за помощь и ценные советы, сотрудникам Якутского филиала ФГБНУ «ВНИРО» за помощь в отборе проб.*

Список литературы

1. *Абакумов, В.А*. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод, донных отложений. Л. Гидрометеоиздат. – 1983.
2. *Андреева, С.И.* Видовой состав моллюсков (Mollusca) водоёмов города Якутска / С.И. Андреева, М.В. Винарский, Н.К. Потапова // Фауна Урала и Сибири. – 2017. - № 1. – С. 7-18.
3. *Балушкина, Е.В.* Хирономиды как индикаторы степени загрязнения вод / Е.В. Балушкина // Методы биологического анализа пресных вод. - Л. ЗИН. - 1976. - С. 106-118.
4. *Балушкина, Е.В*. Зависимость между длиной и массой тела планктонных животных // Е.В. Балушкина, Г.Г. Винберг // Общие основы изучения водных экосистем. - Л. - 1979а. - С. 169-172.
5. *Беннинг, А.Л.* О планктоне реки Лены / А.Л. Беннинг // Изв. Биолого-геогр. НИИ при Вост-Сиб. Госуд. унив. им. Жданова. – Иркутск. - 1942. – С. 217-230.
6. *Боруцкий, Е.В.* Определитель Calanoida пресных вод СССР / Е.В. Боруцкий, Л.А. Степанова, М.С. Кос // СПб.: Наука. - 1991. - 502 с.
7. *Венглинский Д.Л.* Особенности экологии гидробионтов нижней Лены / Д.Л. Венглинский, Т.М. Лабутина, Р.И. Огай и др. // Якутск: Изд. ЯФ СО АН СССР. – 1987.
8. *Георгиади, А.Г.* Гидрохимический режим реки Лены в августе 2018 г. / А.Г. Георгиади, Н.И. Тананаев, Л.А. Духова // Океанология. – 2019. – Т.59. - № 5. – С. 881-884.

9. *Жадин, В.И.* Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных / В.И. Жадин // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л. - 1956. - Т.4. - ч. 1. – С. 226-228.
10. *Кириллов, А.Ф.* Промысловые рыбы Якутии / А.Ф. Кириллов // М.: Научный мир - 2002. – 194 с.
11. *Кириллов, А.Ф.* Результаты интродукции пеляди Coregonus peled в озеро Тогуяр (Бассейн реки Вилюй) // А.Ф. Кириллов, Ю.А. Свешников, А.А. Бурнашев, Л.И. Кузьмина // Вестник рыбохозяйственной науки. - т.5 - №2 (18) - 2018. – С. 54-59.
12. *Кириллов, А.Ф.* Экологический мониторинг гидробионтов среднего течения реки Лены / А.Ф. Кириллов, В.В. Ходулов, И.Б. Книжин / Якутск. - 2009. - 175 с.
13. *Кириллов, А.Ф.* Биология реки Анабар / А.Ф. Кириллов, В.В. Ходулов, И.Г. Собакина и др. // ИПЭС АН РС (Я). – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН. - 2007. – 224 с.
14. *Кирилов, А.Ф.* Гидробиология / А.Ф. Кирилов, Т.А. Салова // Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов. – Новосибирск: Наука. - 2017. – С. 130-145.
15. *Киселев, И.А.* Исследование планктона / И.А. Киселев // Жизнь пресных вод. Т.4.Ч.1.- М.;Л. - Изд-во АН СССР. - 1956. - С.183-271.
16. *Климовский, А.И.* Cladocera (Crustacea, Branchiopoda) Центральной Якутии. Таксоны группы видов *Chydorus sphaericus* (Anomoda, Chydoridae) / А.И. Климовский, А.А. Котов // Зоологический журнал. - т. 94 - № 11. - 2015. – С. 1257-1267.
17. *Кондратьева, Т. А.* Зоопланктон озер Вилюйской низменности / Т.А. Кондратьева и др. // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2008. – Т. 150. – №. 1. – С. 114-120.
18. *Ксенофонтова, М.И.* Характеристика химического состава вод и донных отложений крупных водоемов г. Якутска / М.И. Ксенофонтова, Я.Б. Легостаева, П.Е. Яблоковская, Л.Н. Трофимова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – №. 4. – С. 493-500.
19. *Кузьмина, Л.И.* Питание сибирского осетра среднего течения р. Лена / Л.И. Кузьмина, Е.С. Горохова, Е.В. Бурмистров, Ю.А. Свешников // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса. Материалы VI научно-практической конференции молодых учёных с международным участием. - К.К. Кивва. - 2018. - С. 147.
20. *Кутикова, Л.А.* Коловратки фауны СССР / Л.А. Кутикова // Л. Наука. - 1970. - 744 с.
21. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1982. – 35 с.
22. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. 0-62 Зообентос / Под редакцией В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолихина. - М - СПб.:Товарищество научных изданий КМК, 2016.
23. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. 0-62 Зоопланктон / Под редакцией В.Р. Алексеева и С.Я. Цалолихина. - М - СПб.:Товарищество научных изданий КМК, 2010.
24. *Пестрякова, Л.А.* Процесс эвтрофирования озер долины Туймаада (Центральная Якутия) / Л.А. Пестрякова // Наука и образование. - 2010. - № 4. – С. 82-87.
25. *Потапова, В. А.* Экологическое состояние реки Лена / В.А. Потапова, А.А. Иванов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2012. – №. 11. – С. 41-42.
26. Рыбоводство. Практикум часть 6. Живые корма. Калорийность кормов. Комбикорма. Учебное пособие. Орел. 2006.

27. *Собакина, И. Г.* К изучению зоопланктона озер долины Туймаада / И.Г. Собакина // Экология России: на пути к инновациям. – 2013. – №. 7. – С. 106-112.
28. *Собакина, И.Г.* Зоопланктон озёр города Якутска / И.Г. Собакина, В.А. Соколова // Биологическое разнообразие и продуктивность водных экосистем севера: Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РС (Я) д. б. н. Фёдора Николаевича Кириллова, 15-17 ноября 2011 г. – Якутск: Офсет. - 2012. – С. 301-313.
29. *Татаринова, А.В.* Гидробиологическая характеристика городских и пригородных озер г. Якутска / А.В. Татаринова, Т.А. Салова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - №8. - 2013. – С. 81-82.
30. *Эверестов, А.И.* Уникальные озера Кобяйского улуса (района) РС (Я) / А.И. Эверестов, Л.С. Пахомова // Республиканская научно-практическая конференция «Естественнонаучные исследования: итоги и перспективы развития». Часть 2. Современные эколого-географические исследования в Якутии: сборник научных трудов республиканской научно-практической конференции, 27 ноября 2018 г. – Якутск: издательство СВФУ. - 2018. – С. 248-252.
31. *Rylov, V.M.* Materials on the fauna of freshwater copepods (Copepoda, Calanoida) of the Northern Siberia. Trudy komossii po izucheniyu Yakutskoy ASSR, 1928. P. 1-32 [in Russian].

УДК 597.5.591.9.591.52

РАЗНООБРАЗИЕ РЫБ НА РАЗНЫХ ГЛУБИНАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Е.В. Смирнова, О.В. Карамушко
Мурманский морской биологический институт, Мурманск, Россия,
e-mail: smirnovaElenasmirnova2006@yandex.ru

Аннотация. Впервые для Карского моря представлены количественные показатели биоразнообразия рыбной части сообществ, а также их динамика на разных глубинах. Установлено, что число видов существенно зависело от горизонта и варьировало от 36 на глубине менее 100 м до 5 – глубже 300 м, а повсеместно встречались представители только двух семейств – Gadidae и Liparidae. По результатам кластерного анализа наибольшее видовое сходство рыб отмечено для соседних горизонтов. Индекс разнообразия Шеннона колебался в районе исследований в пределах 0.39–0.76 бит, а выровненности 0.25–0.67. Максимальное разнообразие рыб наблюдалось на глубине 100–200 м, а выровненность долей, или степень доминирования отдельных видов на горизонте более 200 м. В целом, количественные показатели разнообразия рыб в юго-западной части Карского моря зависели от обилия трёх видов – наваги, чешско-печорской сельди и сайки. Также установлено, что глубина является значимым фактором, достоверно влияющим на пространственное распределение видов.

Ключевые слова: биологическое разнообразие; батиметрическое распределение рыб; индекс разнообразия; частота встречаемости; Карское море.

DIVERSITY OF FISH AT DIFFERENT DEPTHS IN THE SOUTHWESTERN KARA SEA

E.V. Smirnova, O.V. Karamushko
Murmansk Marine Biological Institute, Murmansk, Russia

Summary. For the first time, quantitative indicators of the biodiversity of the fish part of the communities, as well as their dynamics at different depths of the southwestern Kara sea, are presented. It was established that the number of species significantly depended on the water

horizon and ranged from 36 at a depth of less than 100 m to 5 at a depth more than 300 m. At all depths there were species of only two families – Gadidae and Liparidae. The Shannon diversity index fluctuated in the study area within 0.39–0.76 bits, and the evenness 0.25–0.67. The maximum diversity of fish was observed at a depth of 100–200 m, and the evenness or the degree of individual species dominance on the horizon more than 200 m. In general, quantitative indicators of fish diversity in the southwestern Kara sea depended on the abundance of three species - Navaga, Suvorow's herring and Polar cod. It is also established that depth is important factor that significantly affects the spatial distribution of species.
Keywords: biological diversity; bathymetric distribution of fish; diversity index; frequency of occurrence; Kara Sea.

В отличие от достаточно многочисленных фаунистических исследований ихтиофауны Карского моря [2; 3; 6; 7; 8; 9; 12], количественная оценка биоразнообразия рыбной части сообществ здесь никогда не проводилась. Тем более для разных горизонтов, что приобрело бы дополнительную ценность данных, необходимых для оценок биоразнообразия различного уровня (альфа, бета, гамма), позволяющих принимать взвешенные решения при осуществлении природоохранных и социально-экономических проектов. Поэтому, цель настоящей работы – получение количественных характеристик разнообразия рыб, обитающих на разных глубинах юго-западной части Карского моря.

Материалы и методы

Материал собран в экспедициях ММБИ на акватории Карского моря в 2012–2019 гг. с борта НИС "Дальние Зеленцы".

За частоту встречаемости видов в уловах принималась доля результативных тралений к их общему числу. В качестве количественной характеристики разнообразия использовался индекс Шеннона, рассчитанный общепринятыми методами [10], а для его вычисления использовался логарифм с основанием 10. Сходство видового состава рыб определялось с помощью индекса Брей-Кёртиса, а дендрограмма построена методом одиночного присоединения. Для оценки достоверности влияния фактора глубины на показатели уловов рыб использовался дисперсионный анализ [11].

Результаты и обсуждение

Анализ собранного материала показал, что в юго-западной части Карского моря в период исследований с 2012 по 2019 гг. обнаружено 36 видов рыб, относящихся к 11 семействам и 7 отрядам (табл. 1), что составляет 34,3% от общего количества видов в Карском море [5].

Таблица 1. Видовой состав и батиметрическое распределение рыб юго-западной части Карского моря в 2012–2019 гг.

Виды	Глубина, м			
	0-100	101-200	201-300	>300
Отряд Rajiformes				
Сем. Rajidae				
Звёздчатый скат Amblyraja radiata (Donovan, 1808)	●	–	–	–
Отряд Clupeiformes				
Сем. Clupeidae				
Чешско-печорская сельдь Clupea pallasii suworowi Svetovidov, 1973	●	●	–	–
Отряд Osmeriformes				
Сем. Osmeridae				

Мойва Mallotus villosus (Muller, 1776)	●	●	●	●
Зубастая корюшка Osmerus dentex Steindachner et Kner, 1870	●	–	–	–
Отряд Gadiformes				
Сем. Gadidae				
Сайка Boreogadus saida (Lepechin, 1774)	●	●	●	●
Навага Eleginus nawaga (Walbaum, 1792)	●	●	–	–
Атлантическая треска Gadus morhua Linnaeus, 1758	–	●	–	–
Отряд Scorpaeniformes				
Сем. Cottidae				
Атлантический крючкорог Artediellus atlanticus Jordan & Evermann, 1898	●	–	–	–
Шероховатый крючкорог Artediellus scaber Knipowitsch, 1907	●	–	–	–
Арктический шлемоносный бычок Gymnocanthus tricuspis (Reinhardt, 1830)	●	●	–	–
Атлантический двурогий ицел Icelus bicornis (Reinhardt, 1840)	●	●	–	–
Восточный двурогий ицел Icelus spatula Gilbert et Burke, 1912	●	●	–	–
Европейский керчак Myoxocephalus scorpius (Linnaeus, 1758)	●	●	●	–
Четырёхрогий бычок, рогатка Myoxocephalus quadricornis (Linnaeus, 1758)	●	–	–	–
Остроносый триглопс Triglops pingelii Reinhardt, 1837	●	●	–	–
Сем. Agonidae				
Лисичка-лептагон Leptagonus decagonus (Bloch et Schneider, 1801)	●	●	–	–
Ледовитоморская лисичка Aspidophoroides olrikii Lütken, 1877	●	●	–	–

Продолжение табл. 1

Сем. Cyclopteridae				
Пинагор Cyclopterus lumpus Linnaeus, 1758	●	●	–	–
Колючий круглопёр Дерюгина Eumicrotremus derjugini Popov, 1926	●	●	–	–
Сем. Liparidae				
Карепрокт Careproctus sp.	●	●	●	●
Липарис Парра Liparis bathyarcticus Parr, 1931	●	●	●	●
Чернобрюхий липарис Liparis cf. fabricii Krøyer, 1847	●	●	●	●
Гренландский липарис Liparis tunicatus Reinhardt, 1836	●	–	–	–
Отряд Perciformes				
Сем. Zoarcidae				
Большеглазый гимнел Gymnelus hemifasciatus Andriashev, 1937	●	–	–	–
Абиссальный ликод Lycodes frigidus Collett, 1879	–	–	●	–
Югорский ликод Lycodes jugoricus Knipowitsch, 1906	●	–	–	–
Бледный ликод Lycodes pallidus Collett 1879	●	●	●	–
Полярный ликод Lycodes polaris (Sabine, 1824)	●	●	–	–
Сетчатый ликод Lycodes reticulatus Reinhardt, 1835	●	●	●	–

Ликод Росса Lycodes rossi Malmgren 1865	●	●	–	–
Полуголый ликод Lycodes seminudus Reinhardt, 1837	–	●	●	–
Сем. Stichaeidae				
Миноговидный люмпен Lumpenus lampretaeformis (Walbaum, 1792)	●	–	–	–
Люмпен Фабриция Lumpenus fabricii Reinhardt, 1836	●	●	●	–
Атлантический лептоклин Leptoclinus maculatus (Fries, 1838)	●	●	●	–
Отряд Pleuronectiformes				
Сем. Pleuronectidae				
Камбала-ёрш Hippoglossoides platessoides (Fabricius, 1780)	●	●	●	–
Полярная камбала Liopsetta glacialis (Pallas, 1776)	●	–	–	–

Несмотря на относительно длительный период наблюдений с 2012 по 2019 год и достаточно обширную акваторию исследований в уловах обнаружено только 36 видов из 105 зарегистрированных для Карского моря. Это связано с тем, что общее количество видов является интегральным результатом как относительно длительного исторического периода наблюдений, так и географией обследованных районов, включающих восточную и северную части Карского моря, эстуарные участки крупных рек (губ), мелководных заливов, сублиторальных зон многочисленных островов и архипелагов. На этих акваториях встречаются не только морские, но также пресноводные, полупроходные и проходные виды рыб [6; 8; 9; 12]. Нами же обследованы только открытые районы юго-западной части Карского моря, где кроме проходной зубастой корюшки зарегистрированы только морские виды.

Наиболее разнообразным по количеству видов было семейство Zoarcidae (8 видов), которых даже в прибрежных водах встречалось больше, чем представителей других семейств. На глубине менее 100 м максимальное число видов отмечено также в семействах Osmeridae, Cottidae, Liparidae, Stichaeidae и Pleuronectidae. На всех же горизонтах встречались виды только трёх семейств – Osmeridae, Gadidae и Liparidae (табл. 2). На глубинах более 300 м отмечены особи всего 5 видов, три из которых являются представителями сем. Liparidae (табл. 1). В целом, количество видов снижалось с глубиной, составляя для горизонтов <100 м – 33, 100–200 м – 25, 200–300 м – 13 и >300 – 5 видов.

Таблица 2. Частота встречаемости рыб разных семейств на разных глубинах

Семейство	Частота встречаемости, %			
	0–100	101–200	201–300	> 300
Rajidae	1,18	–	–	–
Clupeidae	4,70	0,45	–	–
Osmeridae	13,41	16,49	30,0	31,25
Gadidae	63,41	72,28	76,7	50
Cottidae	43,18	14,74	3,3	–
Agonidae	10,91	7,37	–	–
Cyclopteridae	3,18	2,11	–	–
Liparidae	15,68	23,16	66,7	43,75
Stichaeidae	20,00	9,47	6,7	–
Zoarcidae	7,27	8,07	25,0	–
Pleuronectidae	7,05	25,61	20,0	–

Наиболее высокое видовое сходство рыб, составлявшее 80%, отмечено в слоях до 200 м, снижаясь к горизонту более 300 м до 55,5% (рис. 1). Количественный анализ разнообразия рыб на разных глубинах, выполненный для Карского моря впервые показал, что индекс Шеннона на отдельных горизонтах варьировал в пределах 0,39–0,76 бит, а выровненность долей, или степень доминирования отдельных видов от 0,25 до 0,67 (рис. 2).

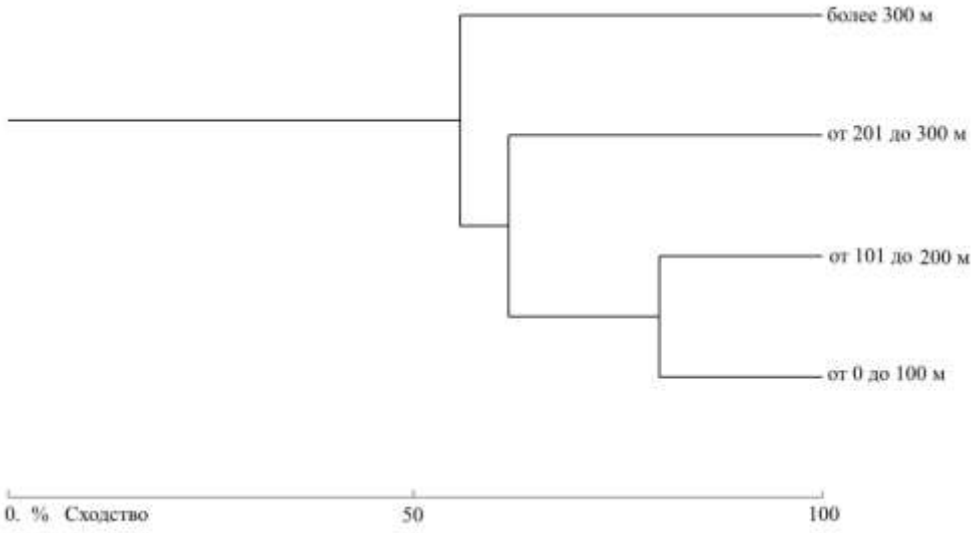


Рис. 1. Дендрограмма сходства видового состава рыб на разных глубинах.

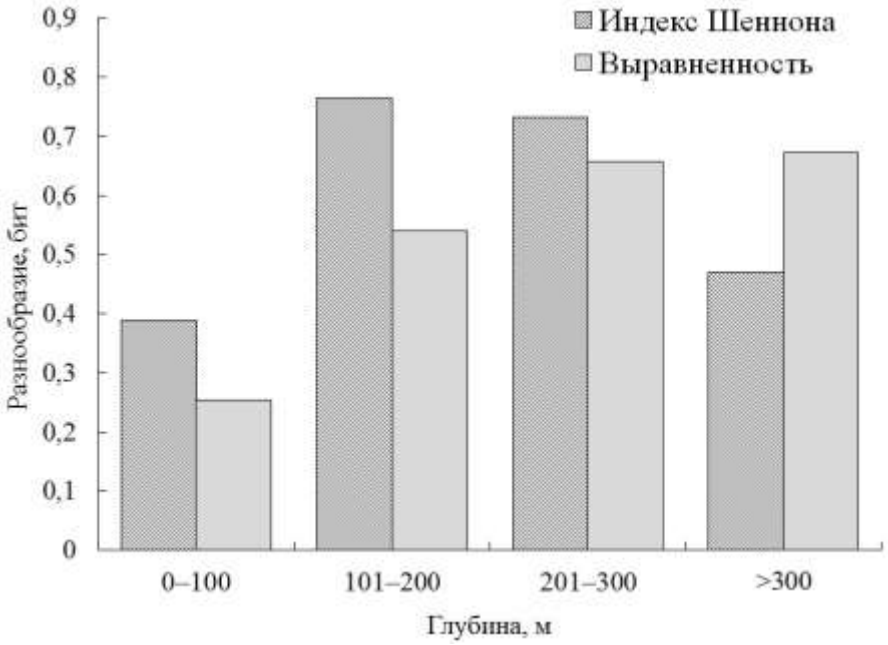


Рис. 2. Показатели биоразнообразия рыбной части сообществ на разных горизонтах (по биомассе)

Самое высокое разнообразие рыб в юго-западной части Карского моря наблюдалось на глубинах 100–300 м, а выровненность долей отдельных видов на горизонте более 200 м.

В приповерхностном слое до 100 м эти величины минимальны из-за существенного доминирования наваги, которая составляла 77,2% от общей массы улова

(рис. 3) и 96,3 % от всех представителей семейства Gadidae на данном горизонте. Вторым, относительно многочисленным видом с долей в уловах в 13 %, была чешско-печорская сельдь. На глубинах от 101 до 200 м основными доминантными видами были навага и сайка (Gadidae), а также камбала-ёрш (Pleuronectidae), доля которых в уловах составляла соответственно 43,6% и 37,5%. Доля видов других семейств была гораздо меньше и не превышала для одного семейства 6,1% (Liparidae).

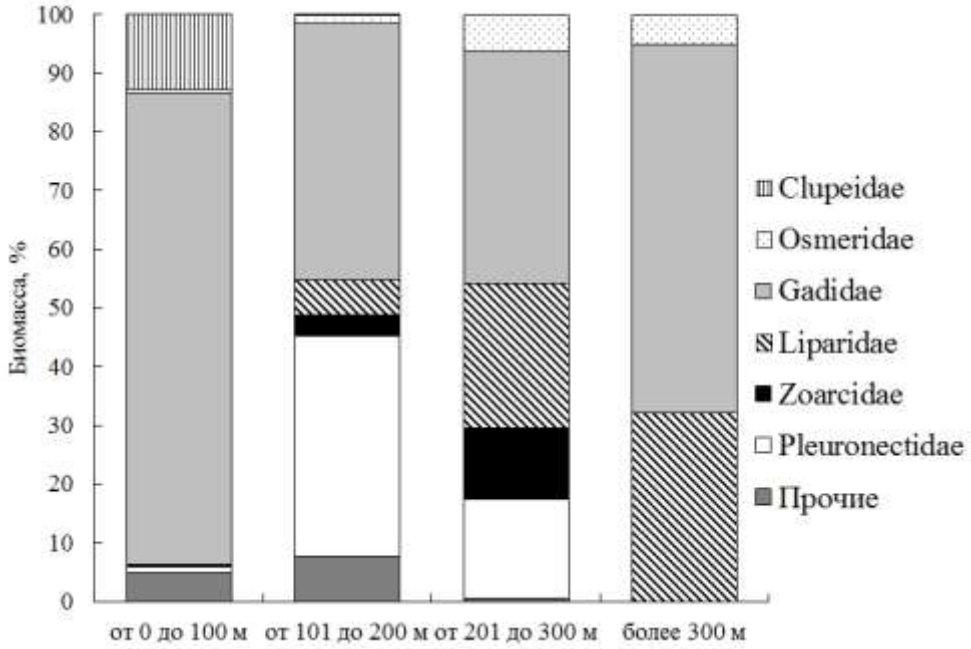


Рис. 3. Соотношение массы рыб на разных глубинах

На глубинах более 200 м основная доля в уловах также принадлежит криопелагической сайке (Gadidae) и представителям семейства Liparidae.

Следует отметить, что максимальные величины встречаемости отдельного вида не зависимо от глубины лова принадлежат сайке (от 50 до 67,7%).

Дисперсионный анализ зависимости частоты встречаемости, численности и биомассы рыб от глубины показал положительную связь только между частотой встречаемости и глубиной (табл. 3).

Таблица 3. Значения критерия Фишера в анализе зависимости некоторых показателей уловов рыб от глубины

Показатель	F	F критическое	Влияние
Встречаемость	4,82	2,72	есть
Численность	1.11	2.72	нет
Биомасса	0,56	2,73	нет

Выводы

1. В период исследований с 2012 по 2019 гг. в юго-западной части Карского моря обнаружено 36 видов рыб, относящихся к 11 семействам и 7 отрядам. С глубиной количество видов уменьшалось от 33 на глубине менее 100 м до 5 – более 300 м. На всех глубинах встречались представители только двух семейств – Gadidae и Liparidae.

2. В районе исследований индекс разнообразия Шеннона колебался в пределах 0.39–0.76 бит, а выровненности 0.25–0.67.

3. Наибольшее видовое сходство отмечено для рыб встречавшихся на горизонтах 0–100 и 100–200 метров.

4. Максимальное разнообразие рыб наблюдалось на глубине 100–200 м, а выровненность долей, или степень доминирования отдельных видов на горизонте более 200 м. В прибрежье отмечены наименьшие значения разнообразия и выровненности, что связано с доминированием наваги, чешско-печорской сельди и сайки.

5. Дисперсионный анализ связи батиметрического распределения рыб с температурой и глубиной показал, что глубина является значимым фактором, достоверно влияющим на пространственное распределение видов.

Список литературы

1. *Андрияшев, А.П.* Рыбы северных морей СССР / А.П. Андрияшев – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. – 556 с.
2. *Астафьева, А.В.* Траловые работы в Карском море / А.В. Астафьева, С.Г. Антонов, А.А. Петров // Сб. науч. тр. АН СССР. – Ленинград:, 1983. – С. 3-12.
3. *Боркин, И.В.* Ихтиофауна / И.В. Боркин, А.В. Васильев, О.Ю. Четыркина // Экосистема Карского моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2008. Гл. 6.– С. 169-171.
4. *Добровольский, А.Д.* Моря СССР / А.Д. Добровольский, Б.С. Залогин. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – С. 82-83.
5. *Долгов, А.В.* Атлас-определитель рыб Карского моря / Долгов А.В., Новоселов А.П., Прохорова Т.А., Фукс Г.В., Прозоркевич Д.В., Чернова Н.В., Шерстков В.С., Левицкий А.Л. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2018. – 271 с.
6. *Есипов, В.К.* Рыбы Карского моря / В.К. Есипов – М.: Изд-во АН СССР, 1952. –146 с.
7. Карское море. Экологический Атлас / ООО «Арктический Научный Центр»; под ред. В.А. Павлова, Е.С. Лебедевой, В.Г. Лакеева. – Москва, 2016. — С. 105-112.
8. *Кобелев, Е.А.* Состав ихтиофауны и структура популяций промысловых рыб Байдарацкой губы Карского моря / Е.А. Кобелев, Новоселов А.П. // Биологические ресурсы прибрежья Российской Арктики: материалы симп. – М.: Изд-во ВНИРО, 2000. – С. 57-63.
9. *Кузнецов, В.В.* Современное состояние экосистемы Обской губы и ее рыбохозяйственное значение / В.В. Кузнецов, И.М. Ефремкин, Н.В. Аржанова и др. // Вопросы промысловой океанологии.– 2008.–- №2. – С. 129-153.
10. *Мэгарран, Э.* Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран – М.: Мир, 1992. – 184 с.
11. *Плохинский, Н.А.* Биометрия / Н.А. Плохинский – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 287 с.
12. *Семушин, А. В.* Видовой состав ихтиофауны Байдарацкой губы Карского моря / А. В. Семушин, А. П. Новосёлов // Вопросы ихтиологии. – 2009. – Т. 49. – № 3. С. 304–317.

УДК 597.2/.5

ИХТИОФАУНА ЗАМОРНЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Е.Н. Ядренкина
Институт систематики и экологии животных СО РАН, г. Новосибирск, Россия
Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Россия
e-mail: Yadrenkina_EN@mail.ru

Аннотация. Представлены сведения об особенностях водных экосистем мелководных озер, характеризующихся периодическим развитием массовой гибели гидробионтов, включая рыб. Результаты аналитического обзора позволил выявить основные причины формирования условий гипоксии в озерах юга Западной Сибири. Выявлены существенные различия видового богатства рыб в озерных комплексах разных климатических зон Обь-Иртышского междуречья. Сходство аборигенных фаун лесоболотной зоны с лесостепной составляет 64%, лесоболотной со степной – 58%, лесостепной со степной – 80% (Индекс Жаккара составляет, соответственно 0,58, 0,64 и 0,80). Обедненный видовой состав ихтиофауны определяется развитием синдрома зимнего стресса у аборигенных видов, приводящего к истощению организма в условиях переохлаждения и дефицита растворенного в воде кислорода и нарушению поведенческих реакций. В настоящее время проявляется тренд увеличения доли чужеродных видов рыб в составе озерных ихтиокомплексов в лесостепной и степной климатических зонах (38% и 43%, соответственно), что свидетельствует об их успешной адаптации к жестким условиям среды. Наиболее успешно натурализовались китайский карась Carassius auratus и ротан-головешка Perccottus glenii.

Ключевые слова: рыбы; чужеродный вид; климатическая зона; гипоксия.

ICHTHYOFAUNA OF WESTERN SIBERIA LAKES, CHARACTERIZED BY CONDITIONS OF FREEZING WATER AND HYPOXIA IN THE WINTER SEASON: ANALYTICAL REVIEW

E.N. Yadrenkina
Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, Russia
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia
e-mail: Yadrenkina_EN@mail.ru

Summary. The results of the review inform the characteristics of shallow lakes with periodic development of mass mortality of hydrobionts. There were identify the main reasons for the formation of hypoxia conditions in lakes in the south of Western Siberia. Significant differences in fish species richness in lake complexes of different climatic zones of the Ob-Irtysh interfluve were revealed. The similarity of native faunas of the forest-marsh zone compared to the forest-steppe zone is 64%, of the forest-marsh zone to the steppe zone - 58%, of the forest-steppe zone to the steppe zone - 80% (Jaccard's index is 0.58, 0.64 and 0.80, respectively). Deplation of species composition is due to the development of winter stress syndrome in native fish. This is the exhaustion of the organism in conditions of hypothermia and deficiency of dissolved oxygen in water. Currently, there is a tendency to increase the ratio of alien fish species in fish communities of lakes of forest-steppe and steppe climatic zones (38% and 43%, respectively). It indicates their successful adaptation to harsh environmental conditions. The Chinese crucian Carassius auratus and rotan Perccottus glenii are the most successfully adapted to ebvironment.

Key words: fish; alien species; climatic zone; hypoxia.

Становление и развитие рыбного хозяйства на внутренних водоемах опирается на изучение продуктивности водоемов разных климатических зон с целью выявления их ресурсных возможностей. Разработка методов повышения рыбопродуктивности природных экосистем, в свою очередь, привлекла пристальное внимание хозяйствующих субъектов к обширному озерному комплексу Западно-Сибирской равнины. Однако высокоэвтрофные водоемы, несмотря на высокие биопродукционные свойства в период вегетации, вследствие своей мелководности не могут эффективно использоваться для товарного подращивания рыб из-за промерзания значительной части акватории и дефицита растворенного в воде кислорода в зимний период, что

специалистами часто трактуется как «проблема зимних заморов». До настоящего времени среди широкого круга научной общественности приоритетно мнение о целесообразности и необходимости «борьбы» с этим явлением.

Биотопы многих водоемов Западной Сибири характеризуются эпизодическим возникновением условий гипоксии, частота и жесткость которых существенно варьируют в аспекте сезонности и межгодовых флуктуаций.

Факторы, обусловливающие дефицит кислорода, имеют разную природу. К таковым относятся процессы эвтрофикация водоемов в результате увеличения количества биогенов, выносимых из рек в эстуарии и озера, и последующее перемешивание придонных и поверхностных вод в процессе вертикальной стратификации; закисление – обратный динамический процесс – от мезотрофного уровня к деструкции экосистемы; накопление токсичных веществ, таких как продукты жизнедеятельности сине-зеленых водорослей [7].

В последние десятилетия изменение трофического статуса водоема все чаще связано с прямым воздействием комплекса антропогенных факторов в результате смыва химикатов в составе промышленных сбросов, неорганических удобрений с сельскохозяйственных полей и фекалий животноводческих комплексов, что приводит к ускорению реакций активного изъятия кислорода из поверхностных вод.

Основная роль в создании кислородного дефицита принадлежит биохимическим процессам, в частности дыханию различных групп бактерий, участвующих в круговороте веществ в водоемах. Так как количество бактерий в природных водах пропорционально количеству органических веществ в них, то и более глубокий дефицит кислорода возникает прежде всего в озерах, где органические вещество находятся в больших количествах в толще донных иловых отложений.

Продукция бактериального комплекса почти в два раза превышает продукционные характеристики зоопланктона [11] и может даже превышать величину первичной продукции [12, 18]. На бактериальную составляющую биоты приходится более 40 % от общего дыхания планктона [10], и может достигать 70-90% от суммарной величины потребления кислорода гидробионтами [1]. В зимний период величина продукции фитопланктона составляла только 16% от бактериальной продукции, что объясняет резкое снижения концентрации кислорода в столбе воды, приводящее к массовой гибели водных беспозвоночных и рыб.

Известно, что по интенсивности обской замор является уникальным явлением и не повторяется ни в одном другом речном бассейне [2 - 4; 6].

Замор рыб происходит в мелких озерах ранней весной в конце ледового покрытия, когда количество растворенного кислорода падает ниже 1 мг/л по всей толще воды в течение нескольких дней. Изучение этого вопроса проводится по всем уровням организации животных – от биохимического уровня в результате хронического недонасыщения тканей рыб кислородом и физиологического стресса, вызванного переохлаждением организма, до системы адаптаций и сложных поведенческих реакций [14; 15; 17; 19; 22]. Синдром зимнего стресса проявляется в истощении запасов жира рыб даже при условии нормального питания, проявляется в нарушении обмена веществ и ослаблении иммунитета (повышенная чувствительность организма к химическим загрязнителям и ослаблении устойчивости к паразитарному фактору) [16]. В условиях недостатка кислорода имеет рост рыб замедляется из-за сокращения потребления пищи, а также меняется экспрессия генов, отвечающих за скорость синтеза и распада белков [8; 9; 21]. Условия гипоксии отражаются и на таких жизненно важных функциях как стайное поведение рыб. Так, при хроническом недонасыщении тканей кислородом происходит ослабление электромагнитных сигналов, посылаемых организмом, как результат - нарушается структура стаи по

причине ослабления контактов, слагающих ее особей. Дезорганизоанные в пространстве рыбы становятся легко уязвимыми для хищников [13; 20].

Подсчеты по аэрофотоснимкам и топокартам 100000-го масштаба показали, что на современном этапе общее количество озер на Западно-Сибирской равнине составляет около 998000. Из них лишь 151600 (15,2%) – это водоемы с площадью акватории от 0,25 км^2 и более [5].

Многолетние данные по изучению видового богатства рыб в озерных комплексах разных климатических зон Обь-Иртышского междуречья показали существенные различия (табл., рис. 1) [23].

Таблица. Видовое богатство рыб озерного комплекса разных ландшафтно-климатических зон юга Западной Сибири (данные автора)

Климатическая зона	Вид																		Всего		
	Обыкновенная щука	Плотва	Язь	Елец	Озерный гольян	Обыкновенный гольян	Верховка *	Вьюн Никольского *	Восточный лещ *	Линь	Золотой карась	Китайский карась *	Сазан *	Пескарь	Речной окунь	Обыкновенный судак *	Обыкновенный ерш	Ротан-головешка *	Аборигенных видов	Чужеродных видов	Общее число видов
Лесоболотная	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	+	-	10	1	12
Лесостепная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	10	6	16
Степная	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	8	6	14

Примечание: * – чужеродный вид

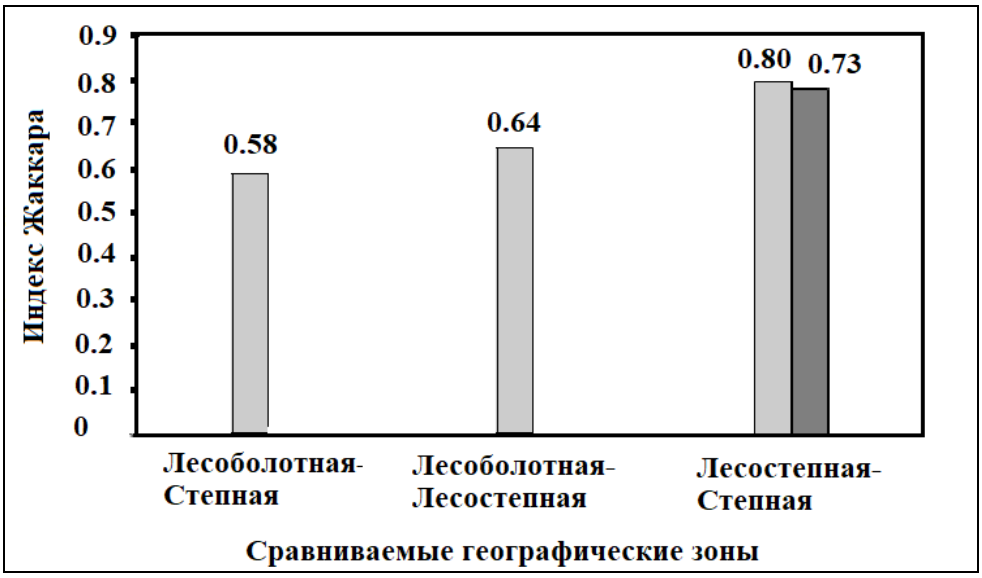


Рис.1 Сходство видового богатство рыб озерных комплексов разных климатических зон Западной Сибири по представителям аборигенной фауны (светлый фон) и чужеродным видам (темный фон) (по данным автора)

В лесоболотной зоне зарегистрировано 10 аборигенных видов (щука *Esox lucius*, язь *Leuciscus idus*, елец *L. leuciscus*, плотва *Rutilus rutilus*, озерный гольян *Rhynchocypris percnurus*, обыкновенный гольян *Phoxinus phoxinus*, линь *Tinca tinca*, золотой карась

Carassius carassius, окунь *Perca fluviatilis*, ерш *Gymnocephalus cernuus*) и один чужеродный (китайский карась *C. auratus*).

В озерах лесостепной зоны список рыб включает 16 видов (из них 6 чужеродных: лещ *Abramis brama*, верховка *Leucaspius delineatus*, китайский карась *Carassius auratus*, сазан *Cyprinus carpio*, судак *Sander lucioperca*, ротан-головешка *Perccottus glenii*).

Ихтиофауна степной зоны включает 14 видов (в том числе 6 чужеродных: лещ *A. bram*а, верховка *L. delineatus*, китайский карась *C. auratus*, сазан *C. carpio*, судак *S. luciopercа*, вьюн Никольского *Misgurnus nikolskyi*), однако елец, обыкновенный гольян и ерш в озерном комплексе этой климатической зоны не регистрируются.

В связи с особенностями биологии реофильных видов обыкновенный гольян, пескарь и ерш регистрируются только в пресноводных озерах, сообщающихся с речной системой. В озерах лесоболотной и лесостепной зон вполне успешно подращивают пелядь, но она не размножается из-за отсутствия подходящего субстрата и часто гибнет в условиях зимней гипоксии.

В мелководных озерах лесостепной зоны с мягкой водой и низкой минерализацией (менее 0,5 г/л) успешно адаптировался ротан-головешка, а толерантный к высокой минерализации воды (до 9 г/м) китайский карась в настоящее время встречается повсеместно, достигая 90-100 % в составе ихтиофауны [23]. Организм этих двух вселенцев выдерживает условия полного промерзания воды и низкого уровня насыщения ее кислородом. Поэтому утверждение о «вытеснении» аборигенных видов рыб со свойственных им экологических ниш дискуссионно, поскольку в меняющихся условиях среды многие чужеродные виды оказались более конкурентноспособными в сравнении с представителями аборигенной фауны региона.

В целом гибель водных животных в заморных озерах обуславливает скопление в толще воды большого количества органического вещества. Эта органическая масса активно перерабатывается бактериопланктоном, который не снижает свою активность жизнедеятельности и в условиях низких температур. Тем самым создается резерв питательного субстрата для массового развития зоопланктона и зообентоса после вскрытия льда и в течение всего периода открытой воды. Развитая кормовая база обеспечивает высокие темпы роста рыб – конечного трофического звена, - что отражается на высоких показателях рыбопродуктивности заморных водоемов юга Западной Сибири, несмотря на относительную бедность.

Список литературы

1. *Драбкова, В.Г.* Бактериальные процессы деструкции органического вещества в донных отложениях озер разного типа / В.Г. Драбкова // Структура и функционирование водных микроорганизмов. Новосибирск: Наука, 1986. – С. 89–93.

2. *Иванчинов, В.Г.* Замор р. Оби и его значение для рыбного хозяйства Обь-Иртышского бассейна / В.Г. Иванчинов. – Тобольск: Издание Обь-Тазовской научной рыбохозяйственной станции Всесоюзного ин-та морского рыбного хозяйства и океанографии, 1934. – 31 с.

3. *Мосевич, Н.А.* Причины зимнего кислородного дефицита в озерах и пути борьбы с заморами рыб / Н.А. Мосевич, П.М. Решетников, М.Д. Тиронов // Заморные явления в озерах и меры их предупреждения. – Новосибирск, 1959. – С. 6-11.

4. *Привольнев, Т.И.* Дыхание рыб как фактор, обусловливающий распространение их в водоеме / Т.И. Привольнев // Известия ВНИОРХ . –Л.:Лениздат, 1948. – Т.25. – Вып. 2. – С. 36–41.

5. *Савченко, Н. В*. Озера южных равнин Западной Сибири / Савченко Н.В. . – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. – 297 с.

6. *Юданов, И. Г.*. К познанию замора р. Оби [гидрохимическое исследование] / И.Г. Юданов, О.Н. Юданова // Тр. Сиб. научн. рыбохоз. ст. – Красноярск, 1929. – Ч. I. – Т. IV. – Вып. 3. – 84 с.

7. *Хендерсон-Селлерс, Б.* Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хендерсон-Селлерс, Х.Р. Маркленд. – Л.:Гидрометеоиздат, 1990. – 279 с.

8. *Abdel-Tawwab*, Mohsen. Fish response to hypoxia stress: growth, physiological, and immunological biomarkers / Mohsen Abdel-Tawwab, Mohamed N. Monier, Seyed Hossein Hoseinifar // Fish Physiol Biochem. 2019 Jun;45[3]:997-1013. doi: 10.1007/s10695-019-00614-9.

9. *Chabot, D.* Reduced growth of Atlantic cod in non-lethal hypoxic conditions / D. Chabot, J.-D. Dutil // J.of Fish Biol. 1999. – Vol. 55. – № 3. – P. 472–491.

10. *Cimbleris, A.C.* Planktonic bacterial respiration as a function of C:N:P ratios across temperature lakes / A.C. Cimbleris & J.Kalff // Hydrobiologia. 1998. – Vol. 384. – P. 89–100.

11. *Cole, J.J.* Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview / J.J.Cole, S. Findlay, M.L. Pace // Mar.Ecol. Progr. 1988. – Ser. 43. – P.1-10.

12. *Coveney, M.F.* Biomass, production and specific growth rate of bacterioplankton and coupling to phytoplankton in an oligotrophic lake / M.F. Coveney, R.G. Wetzel // Limnol. Oceanogr.1995. – Vol.40. – P. 1187–1200.

13. *Crampton, W.G.* Effect of anoxia on the distribution, respiratory strategies and electric signal diversity of gymnotiform fishes / W.G. Crampton // J.of Fish Biol. 1998. – Vol. 53. P.307–330.

14. *Imbrogno, S.* Shaping the cardiac response to hypoxia: NO and its partners in teleost fish / S. Imbrogno, T. Verri, M. Filice, A. Barca, R. Schiavone, A. Gattuso, M.C. Cerra // Curr Res Physiol. 2022. – Apr 4;5. – P. 193–202. doi: 10.1016/j.crphys.2022.03.006

15. *Kramer, D.L.* Dissolved oxygen and fish behavior / D.L. Kramer Env. Biol. Fish. 1987. – Vol.18. – PP. 81–92.

16. *Lemly, A.D.* Winter stress syndrome: an important consideration for hazard assessment of aquatic pollutants / A.D. Lemly // Ecotoxicology and Environmental Safety. 1996. – Vol. 34. – № 3. – P. 223–227.

17. *Lewis, M.W.* Morphological adaptation of cyprinodontoids for inhabiting oxygen deficient water / M.W. Lewis // Copeia. 1970. –Vol.1970. –P. 319–326.

18. *Raitner, B.* Microbial activity under the ice cover of the shallow Neusiedler See [Austria, Central Europe] / B. Raitner, A. Herzing, G.J. Herndl // Hydrobiologia. 1997. –Vol. –357. – P. 173–184.

19. *Rees, B.B.* Acclimation to hypoxia increases survival time of zebrafish, Danio rerio, during lethal hypoxia / B.B. Rees, F.A. Sudradjat, J.W. Love // J. Exp.Zool. 2001. – Vol. 289. – P. 266–272.

20. *Steube, Tyler R.* Distributive stress: individually variable responses to hypoxia expand trophic niches in fish / Tyler R. Steube, Matthew E. Altenritter, Benjamin D. Walther // Ecology. 2021. – 102 [6]:e03356. doi: 10.1002/ecy.3356.

21. *Wang, Q.* Identification of microRNAs in Silver Carp [Hypophthalmichthys molitrix] Response to Hypoxia Stress / Q. Wang, X. Li, H. Sha, X. Luo, G. Zou, H. Liang // Animals [Basel]. 2021. Oct 9;11[10]:2917. doi: 10.3390/ani11102917.

22. *Xiao, K.* Metabolism, antioxidant and immunity in acute and chronic hypoxic stress and the improving effect of vitamin C in the channel catfish [Ictalurus punctatus] / K. Xiao, X. Wang, M.M. Wang, H.X. Guo, W.B. Liu, G.Z. Jiang // Fish Physiol Biochem. 2023 Jun 9. doi: 10.1007/s10695-023-01205-5.

23. *Yadrenkina, E.N.* Distribution of alien fish species in lakes within the temperate climatic zone of Western Siberia / E.N. Yadrenkina // Russian J. of Biol. Invas. 2012. – Vol. 3. – No. 2. – P. 145–157. doi:10.1134/S2075111712020117

УДК 574.587

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ АЛТАЯ

Л.В. Яныгина
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия, yan_lv@mail.ru

Аннотация. Выполнена оценка функционального разнообразия сообществ макробеспозвоночных малых горных водотоков Алтая, расположенных в различных высотных зонах. Показано, что как таксономическое, так и функциональное богатство макробеспозвоночных горных рек с увеличением высоты водосбора снижается. При разработке методов биоиндикации на основе показателей разнообразия рекомендовано учитывать тенденции их изменения в градиенте высоты над уровнем моря.
Ключевые слова: экологический мониторинг, зообентос, малые реки

FUNCTIONAL DIVERSITY OF MACROINVERTEBRATES IN ALTAI MOUNTAIN STREAMS

L.V. Yanygina
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia, yan_lv@mail.ru

Summary. The functional diversity of riverine macroinvertebrate communities in different altitude zones of Altai mountain was assessed. It is shown that both the taxonomic and functional richness of macroinvertebrates in mountain rivers decreased with increasing catchment elevation. When developing bioindication methods based on diversity indicators, it is recommended to take into account the trends of their changes in the gradient of altitude above sea level.
Keywords: ecological monitoring, zoobenthos, small rivers

Ухудшение качества поверхностных вод, вызванное ростом антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборные бассейны, входит в число наиболее значимых проблем современности. Сброс в водные объекты неочищенных сточных вод, сток загрязняющих веществ с участков аграрного природопользования, увеличение площади урбанизированных территорий, нарушение естественных гидрологических характеристик водных объектов (в первую очередь гидростроительство) ведут к существенной трансформации водных экосистем и снижают их способность к самоочищению [1]. Важной основой управления водопользованием и разработки мероприятий по охране водных ресурсов является оценка экологического состояния водных объектов. В отличие от химических методов оценки состояния среды биологические характеристики отражают совокупное воздействие факторов среды, что позволяет рассматривать их в качестве приоритетных показателей состояния водных экосистем при многофакторном воздействии на водные объекты.

Среди биоиндикационных методов в последние годы все большую популярность набирают методы, основанные на функциональных характеристиках сообществ гидробионтов [3,4]. Однако для широкого использования этих методов в практике экологического мониторинга необходимы предварительные исследования

изменчивости этих показателей на ненарушенных или минимально нарушенных территориях.

Цель данной работы – оценка функционального разнообразия сообществ макробеспозвоночных малых горных водотоков различных высотных зон Алтая.

Материалы и методы

Материалом для данной работы послужили сборы зообентоса в апреле, мае и сентябре 2022 г. в 20 малых горных водотоках Алтая. Все реки были разделены на 4 группы: 1 – низкогорные реки (до 1000 м над у.м.), 2 – реки нижнего яруса среднегорий (1000–1500 м), 3 – верхнего яруса среднегорий (1500–2000 м) и 4 – высокогорные реки (выше 2000 м). В каждой высотной зоне обследовано по 5 рек, пробы отбирали на участках с минимальным уровнем антропогенного воздействия (выше населенных пунктов). Расчет индексов функционального разнообразия выполнен с использованием пакета “fundiversity” (R version 4.2.2).

Результаты

Функциональное богатство сообществ макробеспозвоночных исследованных водотоков изменялось в широких пределах: 0,21 до 21,75. Максимальные значения индекса отмечены в р. Сайдыс (выше п. Средний Сайдыс), минимальные – в р. Тюте и р. Тархата. Функциональное богатство донных сообществ снижалось от низкогорных водотоков к высокогорным и в целом повторяло тенденции, отмеченные для таксономического богатства сообществ этих рек (рис. 1). Однако, в отличие от таксономического богатства, которое существенно не различалось между низкогорными водотоками и верхним ярусом среднегорий (критерий Манна-Уитни, p=0,42), наиболее значимое снижение функционального богатства отмечено именно на этом участке. Это свидетельствует об обитании в низкогорных водотоках видов, существенно различающихся друг от друга по функциональным признакам, и о преобладании в составе сообществ средне- и высокогорных водотоков видов со схожими функциональными характеристиками.

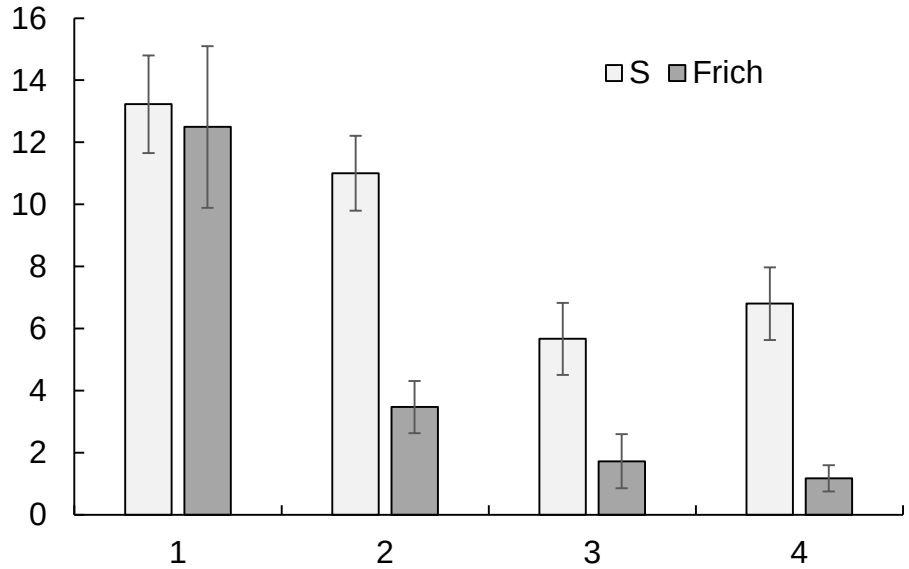


Рис. 1. Видовое (S) и функциональное (Frich) богатство сообществ макробеспозвоночных горных водотоков различных высотных зон Алтая (1 – до 1000 м над у.м., 2 – 1000–1500 м, 3 – 1500–2000 м, 4 – свыше 2000 м)

Тенденция снижения как таксономического, так и функционального богатства сообществ с высотой может быть связана с увеличением «суровости» климата от

низкогорья к высокогорью, одним из наиболее важных показателей которого является снижение температуры воды [2]. Понижение температуры воды может выступать барьером на пути распространения теплолюбивых видов, что ведет к снижению таксономического разнообразия высокогорных водотоков. Кроме того, низкая температура воды может замедлять метаболизм беспозвоночных, что ведет к снижению продуктивности донных сообществ.

В пределах одной высотной зоны дополнительным фактором, влияющим на показатели функционального богатства, по-видимому, является тип питания реки. Так, функциональное богатство сообществ макробеспозвоночных рек ледникового питания в 3,5 раза было ниже соответствующего показателя других рек этой же высотной зоны.

Таким образом, функциональное богатство сообществ макробеспозвоночных малых горных водотоков Алтая на участках с невысоким уровнем антропогенного воздействия существенно различалось. Для широкого использования показателей функционального разнообразия в системах экологического мониторинга горных водотоков необходимо проведение дополнительных исследований, направленных на выявление факторов, определяющих естественную динамику этих показателей.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств Российского научного фонда (проект № 22-24-00757).

Список литературы

1. *Двинских, С. А.* Факторы формирования и элементы химического состава поверхностных вод / С.А. Двинских. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – 77 с.
2. *Яныгина, Л.В.* Сообщества макробеспозвоночных горных водотоков Алтая: факторы формирования и особенности распределения в градиенте высоты над уровнем моря / Л.В. Яныгина, О.С. Бурмистрова, Д.Д. Волгина, А.В. Котовщиков, В.Л. Парадосский, П.А. Шипунов // Труды Зоологического института РАН. – 2023. – т. 327, № 3. – С. 419–429. doi:10.31610/trudyzin/2023.327.3.419
3. *Song, Y.* Relationships between functional diversity and ecosystem functioning: A review / Y. Song, P. Wang, G. Li, D. Zhou // Acta Ecologica Sinica. – 2014. – vol. 34. – P. 85–91.
4. *Vukov, D.* Environmental Drivers of Functional Structure and Diversity of Vascular Macrophyte Assemblages in Altered Waterbodies in Serbia // D. Vukov, M. Ilić, M. Ćuk, R. Igić // Diversity. – 2023. – vol. 15, 231. doi: 10.3390/d15020231

УДК 575.17:597.4

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ СИГА И МУКСУНА НА ПРИМЕРЕ ОБСКОГО МУКСУНА

Н.Д. Гайденок, А.И. Пережилин
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, Российская Федерация,
alex_pr@sibsau.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности влияния численности на гибридизацию сига и муксуна. Приведены результаты математического моделирования динамики биомассы обского муксуна. Анализ эколого-генетических основ выявил увеличение трофодемографических параметров.

Ключевые слова: сиг, муксун, гибридизации, эндолимитирование, воспроизводство, математическое моделирование

FEATURES OF NATURAL HYBRIDIZATION OF WHITESHIP AND MUKSUN ON THE EXAMPLE OF THE OB MUKSUN

N.D. Gaydenok, A.I. Perezhilin
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation, alex_pr@sibsau.ru

Summary. The features of the influence of numbers on the hybridization of whitefish and muksun are considered. The results of mathematical modeling of the dynamics of Ob muksun biomass are presented. Analysis of the ecological and genetic basis revealed an increase in trophodemographic parameters.

Keywords: whitefish, muksun, hybridization, endolimitation, reproduction, mathematical modeling

Рассмотрим особенности динамики гибридизации ихтиофауны, а именно – влияние численности сига и муксуна, на примере обского муксуна (рисунок 1), где имеются наблюдения за 10 лет.

В работе [2] показан критерий дифференциации сига и муксуна по величине проекции жирового плавника к длине анального плавника. Согласно этому критерию в выборке из 24 особей доля потенциальных гибридов в 2012 г. составляла 1/7, а в 2022 г. – уже 1/3, т.е. увеличилась в 2 раза. Если в 2012 году в выборке представлены в основном классические муксуны, то в 2022 г. уже едва ли не копии речных и озерных сигов – рисунок 1.

Рассмотрим причины такой трансформации. Основной причиной здесь может быть динамика соотношений количества сигов и муксунов на нерестилищах – резкое увеличение сигов и уменьшение муксунов в 2022 г. в сравнении с 2012 г. Для проверки этой гипотезы было произведено математическое моделирование динамики биомассы обского муксуна на базе трофодемографических параметров из работы [1], которая была основана на результатах исследований обских ихтиологов, и результаты представлены в виде рисунка 2. Кроме того, для верификации динамики за период 2012 – 2022 гг. были использованы наблюдения начальника отдела «Ханты-Мансийский» Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» С.А. Сенника, повествующие о роли охраны

нерестовых стад и искусственного воспроизводства: «Эффективность искусственного воспроизводства оцениваю весьма положительно. И другого пути восстановления я пока не вижу. Действенной альтернативы восстановления нет; охраной дикого нерестового стада, даже с супер-эффективной охраной стада, восстановление будет начинаться очень долго. И не факт что супер-охрана нерестовых стад даст более положительный эффект (особенно в момент, когда нерестовой рыбы в реке критически мало); при этом не факт что охрана будет дешевле, чем выпуск мальков. И уже к примеру в этом году производитель муксуна ловился очень хорошо. Кратно лучше позапрошлого-прошлого года. Если последние 3-4 года на Оби в 1 плав ловилось в ход до 3-4 ну максимум разово в сезон 5-6 муксунов, то в этом году уже попадало до 11-12 штук; надеяться на то, что он произошел от естественного нереста не приходится. Поэтому изначальный старт дикого восстановления, считаю возможным исключительно только от массовых искусственных выпусков молоди».

а) б) в)

Рис.1. Обской муксун: а) Обская Губа 2012 г. (фото А.Г. Селюкова), б) ХМАО 2022 г. (фото С.А. Сенника); в) сравнение с озерно-речными сигами (фото В.И. Романова)

В модели с учетом многолетних трофодемографических параметров и промысловой политики, определяемой Госрыбцентром, просмотрен сценарий при отсутствии двух взаимонезависимых процессов – искусственного воспроизводства и техногенных аварий и антропогенного изменения гидрографии. Как видно из рисунка 2, в настоящей действительности динамика популяции обского муксуна, с одной стороны, как нельзя лучше согласуется с наблюдениями С.А. Сенника, а с другой проливают свет не только на характер величины соотношения сиг/муксун, но и позволяет определить локализацию нерестилищ, где происходит наблюдаемая гибридизация.

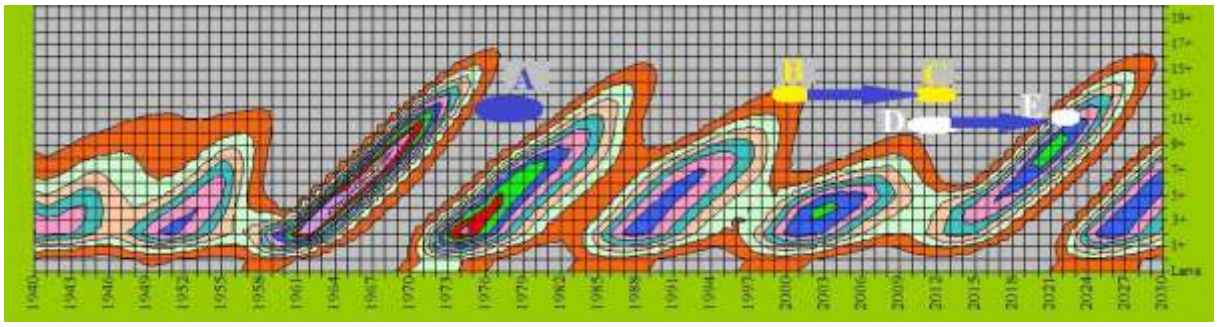


Рис. 2. Динамика популяции обского муксуна

Рассмотрим это более детально. Производители 2012 г. – «точка С» рисунка 2 – были рождены 11 – 13 лет назад в «точке В», находящейся на гребне волны, когда на нерестилищах было, как достаточное количество производителей муксуна, так

обеспечивался в силу эндолимитирования «сильный» или «дальний» ход [1] на Верхне-Обские нерестилища, например в р. Томь.

В 2022 г – «точка Е» наблюдается уже иная ситуация производители, отловленные в этом году – «точки С и D», хотя и были рождены на пике волны, но он имели, не только малую амплитуду, но и не обеспечивали «сильного хода», что подтверждается наблюдениями Томского филиала Госрыбцентра [3]. Это же в свою очередь означает факт нереста на ближних нерестилищах северо-уральских и тундровых рек Обского бассейна – Собь, Сосьва и реки Ямала, Гыдана и Тазовского п-ва, которые являются центром локализации как пыжьянов, так и горбоносых сигов, распространенных от Кольского залива на Западе то Хатанги на Востоке – рисунок 3. При этом, не смотря на полиморфизм муксуна, горбоносые муксуны наблюдаются только в обской выборке.

Рис. 3. Верхнее фото – Обской муксун, ХМАО 2022 г. (фото С.А. Сенника); нижнее – Хатангский горбоносый сиг, 2014 г. (фото Ю.В. Будина)

Проанализируем природу сложившейся ситуации с эколого-генетических позиций. С точки зрения генетической чистоты это, несомненно, отрицательный факт. Но, зато, с точки зрения величин трофодемографических параметров – это факт положительный, так как кратность генерации муксуна равна 3, а сига – 2. Следовательно, происходит повышение трофодемографических параметров, как минимум в 7/6 раза. Этим и может быть, кроме охранных мер и искусственного воспроизводства, обеспечен подъем волны с 2013 г. по настоящее время.

Список литературы

1. *Гайденок, Н. Д.* Моделирование, экология и промысел ихтиофауны Енисея и Оби и морских млекопитающих Карского моря: монография / Н.Д. Гайденок, А.Н. Баранов, Г.М. Чмаркова. – Красноярск: СибГАУ, 2014. – 452 с.

2. *Гайденок, Н. Д.* Результаты анализа природы дифференциации нерестилищ муксуна Енисея. Часть 1. От геологии к генетике / Н.Д. Гайденок // Рыбное хозяйство. – 2023. – № 4. – С. 61-66.

3. Материалы, обосновывающие общие допустимые уловы водных биологических ресурсов в водоемах Томской области на 2016 г. (с оценкой воздействия на окружающую среду). – Новосибирск, 2015. – 37 с.

УДК 574.5, 574.6

ИХТИОФАУНА И ОЦЕНКА РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ Г. КАЗАНИ

А.И. Галеева[1], Н.М. Мингазова[1], И.Р. Гильманшин[2]
[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация
[2] Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань, Российская Федерация
asiyagaleeva@yandex.ru

Аннотация. Проблема динамики численности и биомассы популяций рыб является актуальной проблемой биоресурсоведения, имеет большое практическое и теоретическое значение. Динамике численности и биомассы ихтиофауны посвящено большое количество исследований. В данном исследовании мы рассмотрели вопрос качественной характеристики ихтиофауны и оценки рыбопродуктивности озерных экосистем г. Казани по количественным показателям фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

Ключевые слова: ихтиофауна озер; озерная экосистема; оценка рыбопродуктивности; биоресурсный потенциал озерных экосистем; биомасса ихтиофауны.

FISH PRODUCTIVITY ASSESSMENT OF KAZAN CITY LAKE ECOSYSTEMS

A.I. Galeeva 1, N.M. Mingazov1, I.R. Gilmanshin2
[1]Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation
[2]Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation
asiyagaleeva@yandex.ru

Summary. The problem of the dynamics of the number and biomass of fish populations is an urgent problem in bioresource science and is of great practical and theoretical importance. A large number of studies have been devoted to the dynamics of the abundance and biomass of fish. In this study, we examined the issue of qualitative characteristics of fish and assessment of fish productivity of lake ecosystems in Kazan based on quantitative indicators of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos.

Key words: fish of lakes; lake ecosystem; assessment of fish productivity; bioresource potential of lake ecosystems; biomass of fish.

Важнейшим направлением гидробиологических исследований является оценка биоресурсного потенциала водных экосистем [3]. Продукционный подход, позволяющий оценить количественные параметры вылова рыбы, предполагает исследование передачи вещества и энергии по трофической цепочке озерной экосистемы [1, 2].

Ихтиофауна – конечное звено трофической цепочки водной экосистемы, отражающее её состояние. Рыбопродукционные возможности водной экосистемы можно коротко охарактеризовать словами К.Ф. Бэра «Ихтиофауны может быть только такое количество, какое может найти себе пропитание» [5].

Цель исследования – расчет рыбопродукционных возможностей озерных экосистем г. Казани по количественным показателям фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

Материалы и методы

Настоящая работа выполнена на кафедре Природообустройства и водопользования и в Лаборатории оптимизации водных экосистем (ЛОВЭ) Института управления, экономики и финансов ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Фондовыми материалами для работы явились данные инвентаризационных исследований 175 озёр г. Казани, экологические паспорта данных озёрных экосистем, разработанные в рамках инвентаризации и паспортизации водных объектов г. Казани (2007-2010 гг.), а также отдельные отчёты состояния водных объектов в рамках муниципальных контрактов с МКУ «Комитет внешнего благоустройства города Казани» и хоздоговоров (2010-2022 гг.).

На основании этих гидробиологических исследований авторами работы были проведены расчеты прогнозной оценки возможной рыбопродукции по биомассе фитопланктона, зоопланктона и зообентоса озёр г. Казани с использованием гидробиологических методов, включающих нижеприведенные регрессионные уравнения.

Для оценки возможной рыбопродукции по биомассе фитопланктона озёр г. Казани использовалось следующее регрессионное уравнение [6]:

$$P = 4{,}546\ B_ф^{0{,}691}, \quad (1)$$

где P –рыбопродуктивность, кг/га в год;

$B_ф$ – биомасса фитопланктона, г/м^3.

Для проведения расчетов прогнозной оценки возможной рыбопродукции по биомассе зоопланктона применялось регрессионное уравнение [6]:

$$Y=4.408*X^{0.698}, \quad (2)$$

где Y, кг/га – возможная рыбопродукция;

X, г/м^3 – биомасса зоопланктона.

Для расчета возможной продукции бентофагов по биомассе зообентоса использовалась формула [4]:

$$P_{бентофагов} = 0{,}2P_{бент.}, \quad (3)$$

где P - рыбопродуктивность, кг/га;

$P_{бент}$ - биомасса бентоса, кг/га.

Результаты

В составе ихтиофауны озёрных экосистемах г. Казани отмечено 15 видов. Все виды относятся к классу Костные рыбы (*Osteichthlyes*), к 3 отрядам (*Esociformes, Cypriniformes, Perciformes*) и 5 семействам (*Ecocidae, Cyprinidae, Balitoridae, Percidae, Eleotriade*). Наиболее разнообразен отряд *Cypriniformes*, 11 видов из всего представленных видов в озёрах г. Казани относится к этому отряду (табл. 1).

Встречаемость видов – от полного отсутствия или одного (чаще сорного вида ротана) до 11 видов в озере. Наиболее высокое видовое разнообразие (9-11 видов) ихтиофауны было обнаружено в старично- карстовых озерах с глубиной более 10 м – Нижний, Средний и Верхний Кабан. Около 5-8 видов было обнаружено в непроточных карстовых озерах (Озеро Большое Глубокое, Лебяжье, Ботаническое). Больше всего в пределах г. Казани встречаются озёрные экосистемы с количеством видов ихтиофауны 1-4 вида и совсем безрыбные озера. При этом следует учитывать, что в озерах с одним видом чаще всего населяет инвазивный вид ротан, имеющий высокую толерантность к загрязнениям и экологическую пластичность, считается «сорным» видом, негативно влияющим на водную экосистему, угнетающий местных гидробионтов [7, 8]. Ротановые водоёмы нельзя относить к рыбопродуктивным и ресурсным озёрам.

Таблица 1. Встречаемость видов ихтиофауны в озёрных экосистемах г. Казани

№	Отряд	Семейство	Вид	Встречаемость, %
1	Esociformes – Щукообразные	Ecocidae- Щуковые	*Esox Lucius* L. - Щука	16
2	Cypriniformes - Карпообразные	Cyprinidae - Карповые	*Rutilus rutilus* L. - Плотва	32
3			*Scardinius erythrophthalmus* L. - Красноперка	21
4			*Lecaspius delineates* (Heck.) - Верховка	47
5			*Alburnus alburnus* L. - Уклея	26
6			*Abramis brama* L. - Лещ	11
7			*Blicca bjoerkna* L. - Густера	11
8			*Tinca tinca* L. - Линь	21
9			*Carassius carassius* L.- Карась золотой	68
10			*Carassius auratus gibelio* Bloch - Карась серебряный	32
11			*Ciprinus carpi L.* - Сазан	42
12		Balitoridae – Усатые гольцы, балиторовые	*Barbatulla barbatulla* L. - Голец	11
13	Perciformes - Окунеобразные	Percidae - Окуневые	*Perca fluviatilis L.* - Окунь	39
14			*Acerina cernua L.* - Ерш	5
15		Eleotriade - Головешковые	*Percottus glehni* Dybowsky - Ротан	42

В сводной табл. 2 представлены данные расчета ихтиопродуктивности исследованных озёрных экосистем г. Казани на основе регрессионных уравнений, учитывающих биомассу фитопланктона, зоопланктона и зообентоса.

Таблица 2.Расчетная ихтиопродуктивность озёрных экосистем г. Казани

Наименование	Рыбопродуктивность по биомассе фитопланктон, кг/га	Рыбопродуктивность по биомассе зоопланктона, кг/га	Рыбопродуктивность по биомассе зообентоса, кг/га	Общая рыбопродуктивност, кг/га
Минимальное	0,86	0,02	0,08	0,96
Максимальное	165,7	55,53	32,4	253,63
Среднее	30	5,68	5,68	41,36

Расчеты рыбопродуктивности по биомассе фитопланктона показали, что средняя рыбопродуктивность всех исследованных озёр составляет 30 кг/га, наиболее высокопродуктивным на единицу площади оказалось оз. Песчаное (165,7 кг/га), наименее продуктивным озеро 6 в Парке Победы (0,86 кг/га). По биомассе зоопланктона средняя ихтиопродуктивность - 5,68 кг/га, при этом наиболее высокопродуктивным на единицу площади оказалось оз. Бусинка (55,53 кг/га), наименее продуктивным оз. Ротановое (0,02 кг/га).

По биомассе зообентоса средняя рыбопродуктивность всех исследованных озёрных экосистем - 5,68 кг/га, по данному показателю наиболее высокопродуктивным

на единицу площади оказалось оз. Средний Кабан (32,4 кг/га), наименее продуктивным оз. Восточное (0,08 кг/га).

Таким образом, общая средняя ихтиопродуктивность озёрных экосистем г. Казани по всем трем показателям (биомасса фитопланктона, зоопланктона и зообентоса) составила 41,36 кг/га.

Заключение

В результате анализа данных можно разделить озера города на 4 группы: I- рыбные с редкими видами (более 10 видов), II – рыбные с богатым видовым разнообразием (4-10 видов), III – рыбные с фоновыми видами, низким видовым разнообразием (1-4 вида), IV – безрыбные. Фоновыми видами рыб для озёр г. Казань являются карась золотой, окунь, карась серебряный и плотва, редкими – ерш, щука, лещ, густера.

В целом для более глубокого анализа и детальных расчетов ихтиопродуктивности необходимо проводить исследование комплексного состояния ихтиоценозов по совокупности географических, гидрологических, морфометрических, гидрохимических, гидрохимических, гидробиологических параметров, включая влияние трофической структуры экосистемы, подробный анализ рыбопродукции, сопоставление разных методов и экспертных оценок.

Список литературы

1. *Алимов, А. Ф.* Введение в продукционную гидробиологию/ А. Ф. Алимов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 151 с.

2. *Алимов, А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем / А. Ф. Алимов// СПб: Наука, 2000. 147 с.

3. *Алимов, А.Ф.* Динамика структурно-функциональной организации экосистем континентальных водоемов/ А. Ф. Алимов В.В. Бульон, С.М. Голубков // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. – М., 2005. – С. 241–253.

4. *Бессонова, Н.М.* Рыбохозяйственная гидрохимия/ Н.М. Бессонова, Ю.А. Привезенцев. – М.,1987. –159 с.

5. *Китаев, С.П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов/ С.П. Китаев. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 395 с.

6. *Коваль, В.П.* Эмпирический подход к прогнозированию рыбопродуктивности проектируемых водохранилищ / В.П. Коваль, А.Б. Казанский // Вопросы прогнозного обеспечения рыбного хозяйства на внутренних водоемах. – Л., 1984. – С. 119-134.

7. *Мингазова, Н.М.* Биоразнообразие водных объектов г. Казани / Н. М. Мингазова, О.Ю, Деревенская, О. В., Палагушкина, Л. Р. Павлова, Н. Р. Зарипова, Р. И. Замалетдинов, Т. А. Кондратьева, Ю. и. Павлов, Е. Н. Унковская, М.Г. Борисович, Л. Ю. Халиулина // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2008. – Т. 150, кн. 4. – С. 252–260.

8. Экология города Казани. – Казань: Фэн Академии наук РТ, 2005. – 576 с.

УДК 574.5

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОЗЕРА МАРЬИНО, Г. КАЗАНЬ

Э.Г. Набеева, Я.К.Камских, Н.М.Мингазова
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия,
levira_nn@mail.ru

Аннотация. Исследовалось изменение биотических сообществ и качества вод озера Марьино после применения экореабилитационных мероприятий. Для улучшения качества вод применяли: берегоукрепление, создание биоплато, удаление донных отложений и биомассы растений, применение методов искуственной аэрации. Качество воды в озере улучшилось: повысилось содержание растворенного кислорода с 8.3 мг/л до 12.11 мг/л.; прекратились весенние заморы рыб; снизились показатели $БПК_5$ с 10.4 мг О/л до 4.2 мг О/л. Восстановление биотических сообществ происходит очень медленно, отмечена смена видового состава, появление амфибиотических насекомых, характерных для чистых вод. Лимнофильные виды вытеснены амфибиотическими видами, заселяющиеся первыми на вновь образующиеся или восстанавливаемые водные объекты.
Ключевые слова: качество вод, зообентос; восстановление водных объектов; технологии.

RESTORATION OF LAKE MARINO, KAZAN

E.G. Nabieva, Y.K.Kamskikh, N.M.Mingazova
Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia, levira_nn@mail.ru

Summary. The changes in biotic communities and the quality of the waters of Lake Marino after the application of eco-rehabilitation measures were studied. To improve the water quality, the following methods were used: shore protection, creation of a bioplato, removal of bottom sediments and plant biomass, the use of artificial aeration methods. The water quality in the lake has improved: the dissolved oxygen content has increased from 8.3 mg/l to 12.11 mg/l; spring fish starvation has stopped; BPK5 indicators have decreased from 10.4 mg O/l to 4.2 mg O/l. The restoration of biotic communities is very slow, there has been a change in species composition, the appearance of amphibiotic insects characteristic of clean waters. Limnophilic species have been displaced by amphibiotic species, which are the first to settle on newly formed or restored water bodies.
Key words: water quality, zoobenthos; restoration of water bodies; technologies.

В настоящее время проблема исчезновения малых водных объектов стала очень актуальной для большинства городов Российской Федерации. Водные объекты подвергаются интенсивному антропогенному воздействию, что приводит к их загрязнению, эвтрофированию, снижению качества воды, ускорению скорости сукцессионных процессов, как следствие, заболачиванию и зарастанию. Озеро Марьино относится к типу малых, мелководных озер в пойме реки Казанки, образованных под напором грунтовых вод в котлованах торфоразработок на месте обширного пойменного болота. Развивается как озерная экосистема на протяжении длительного периода.

Цель исследования – оценка эффективности проекта восстановления озера Марьино в г. Казани.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили данные 2007, 2020, 2022 гг. В ходе исследования проводился отбор и анализ проб зообентоса (изучение видового состава,

численности и биомассы, анализ индексов видового разнообразия). Пробы зообентоса отбирали с площадки размером 20Х20 см. Изучение зообентоса велось в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [1; 2; 3; 4]. Трофность озера определялась с помощью классификации Китаева, где оценивается суммарная биомасса зообентоса водного объекта. Для оценки качества воды были использованы следующие показатели: индексы видового разнообразия Шеннона, Симпсона, индекс Вудивисса, индекс Майера. Гидрохимические показатели измерялись кислородомером, кондуктометром, pHметром на месте пробоотборов.

Результаты исследования

Озеро вытянуто с востока на запад, в южной части сформирован залив. Вследствие чего озеро имеет овальную форму приближенную к неправильной Г–образной. Благодаря подсыпке насыпным грунтом в восточной части озера берега 2-3 м, более высокие. В северо-восточной части берега в большинстве пологие. В 1980–1990-х гг. озеро искусственно озеленили аллеей берез по берегам. Длина водоема в 2004–2005 гг. составляла около 180 м, ширина от 50 м в западном конце до 100 м в восточном конце (с включением южного залива). Общая площадь водоема составляла на май 2005 г. около 1,3 га (0,9 га - общая часть и 0, 4 га – южный залив).

Возраст озера установить нелегко. С учетом воздействия торфоразработок, озеру Марьино не менее 45-65 лет. Марьино озеро длительное время формируется как озерная экосистема, гидрологический режим которого связан с грунтовыми водами и воздействием подпора от водохранилища.

Глубина водоема в 2005 г. составляла от 1,1 до 2,2 м в центре (ранее по центру отмечалось 2-3 м). По топографическим картам глубина в заливе была около 3 м. Питание озера является смешанным. Состоит из грунтовых вод, атмосферных осадков, поверхностных стоков. В водном балансе преобладают грунтовые воды в виду их близкого залегания.

В 2005 г. осуществлены работы по засыпке южного залива озера, которые привели к уменьшению площади и глубины озера Марьино. Преобладающими глубинами в настоящее время являются 1,4-1,6 м. Характерно сползание песка от засыпки части южного залива в центральную зону озера. Последствиями засыпки озера явились: повышение трофности озера, уменьшение глубины, замусоривание прибрежной территории, заморы рыбы, снижение качества вод.

Для восстановления создан проект экореабилитации озера Марьино. Основной идеей проекта было создание экопарка, с умеренной рекреацией, а также экологическое образование населения, сохранение всех компонентов экосистемы, включая береговую линию, места обитания, древесную растительность. Для благоустройства принято решение о применении натуральных материалов при строительстве рекреационной инфраструктуры.

Проект осуществлялся в 2 этапа. 1 этап осуществлялся в 2014 г., а 2 этап– в 2020 г.

В ходе первого этапа осуществлены профилактические мероприятия: санация территории, удаление излишней погруженной водной растительности; создание площадок для отдыха и дорожек вокруг озера; посадка деревьев, живой изгороди из кустарников, вертикального озеленения из дикого винограда; создание биоплато; создание берегоукрепления из георешеток с наполнением грунтом и высадкой газона. Также осуществлены восстановительные мероприятия: создание системы аэрации с помощью погружного аэратора; установка плавающего острова с растениями.

Подготовительные мероприятия включали очистку территории от мусора, акватории от всплывающей водной растительности. Далее осуществлялись гидротехнические мероприятия - укрепление берега габионами и георешетками, обустройство системы придонной аэрации. На этапе биотехнических мероприятий

создано биоплато, сконструирован искусственный остров, произведено залужение территории многолетними травами, обустройство клумб, высадка деревьев. Благоустройство прибрежной зоны проводилось с сохранением структуры и элементов предшествующего благоустройства.

Поскольку озеро небольших размеров и прибрежная территория небольшая, большая часть мероприятия проводилась ручным способом без использования тяжелой техники. Для осуществления образовательных целей на прибрежной территории установлены образовательные стенды с описанием животного и растительного мира озера. В 2020 г. осуществление проекта экореабилитации озера продолжилось. Для улучшения качества вод и снижения количество биогенов в воде проводилось удаление донных отложений. Для этого использовался миниземснаряд и технология Geotube. Произведено дополнительное укрепление склона геоматами (поскольку георешетки с применением газона не смогли эффективно удерживать грунт на крутых склонах). Улучшение аэрации озера произошло благодаря созданию водного каскада, перекачивающего воду. Установленный ранее аэратор подключен для работы в постоянном режиме, что улучшило кислородный режим в летнее и зимние время; прекратились наблюдаемые ранее заморы рыб.

При оценке эффективности мероприятий выявлена положительная динамика основных показателей качества воды. Содержание кислорода увеличилось с 8,3 мг/л до 12,11 мг/л. (что соответствовало «чистой» воде); pH остался неизменным и равен 7,3 ед., $БПК_5$ уменьшился с 10,4 мг О/л до 4,2 мг О/л, характеризуя изменение качества вод с «предельно грязной воды» до «грязных».

При изучении изменения сообщества зообентоса выявлены изменения в видовом составе и количественных характеристиках организмов.

До начала мероприятий, после засыпки части озера, в 2012 г. зообентос озера представлен хирономидами, пиявками, мелкими брюхоногими моллюсками, водными насекомыми. Численность организмов зообентоса составляла 112,5 экз./м^2, биомасса - 0,81 г/м^2. Биотические индексы характеризовали озеро как грязное, сообщество, как неустойчивое (индекс сапробности – 2,9, индекс Шеннона – 1,22, индекс Симпсона – 0,49.

После проведения мероприятий 2020 гг. изменился видовой состав сообщества зообентоса: появились поденки, преобладали по численным характеристикам брюхоногие моллюски и хирономиды. Количественные характеристики значительно снизились. Значения численности изменялись - в среднем составляли 12,5 экз/м^2, биомассы – от 0,025 г/м^2 у хирономид до 0,05 г/м^2 у поденок.

Значения индексов видового разнообразия, характеризующих выровненность сообществ, повысились: индекс Симпсона варьируется от 0,78 до 0,79 на станциях, что соответствует высокому уровню разнообразия и большей устойчивости экосистемы. Индекс Шеннона равен 2,2 – 2,3. Таким образом, экологическое состояние объекта можно охарактеризовать как умеренно- загрязненное.

Заключение

Исходя из данных, полученных после изучения экологического состояния озера Марьино, можно сделать вывод, что качество воды в озере после применения восстановительных мероприятий улучшилось. Что касается биотических сообществ, их восстановление происходит очень медленно, происходит смена видовых сообществ. Лимнофильные виды вытеснены амфибиотическими видами, заселяющиеся первыми на вновь образующиеся или восстанавливаемые водные объекты.

Список литературы

1. *Абакумов, В.А.* Зообентос в системе качества вод/ Абакумов В.А., Качалова О.JI. // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. – Гидрометеоиздат, 1981. – С. 5-12.
2. *Алимов, А.Ф.* Закономерности изменений структурных и функциональных характеристик сообществ гидробионтов//Гидробиологический журнал. – 1995. – т. 31, №5. – С. 3-11.
3. *Безматерных, Д. М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналит. обзор / Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Ин-т вод. и экол. проблем. – Новосибирск, 2007. – 87 с. – (Сер. Экология. Вып. 85)
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л., Гидрометеоиздат, 1983. – 240 с.

УДК 504.062:339.976

РЕИНТРОДУКЦИЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (SALMO SALAR) В БАССЕЙНЕ РЕКИ РЕЙН: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.И. Никифоров, Е.А. Ваизова, Ю.Е. Барышникова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, Российская Федерация, nai@vniro.ru

Аннотация. Настоящая работа посвящена анализу результатов осуществлявшейся на протяжении 40 лет деятельности по реинтродукции атлантического лосося (Salmo salar) в бассейн реки Рейн и ряда его притоков; в работе перечисляются и обсуждаются наиболее важные причины деградации нативной популяции атлантического лосося в реке Рейн в течение прошлого века, приведшие в итоге к практически тотальному исчезновению данного вида из ихтиофауны Рейна; подробно рассмотрены социально-экономические, исторические и экологические предпосылки разработки планов и реализации масштабных работ по реинтродукции атлантического лосося в реку Рейн с целью воссоздания самовоспроизводящейся популяции; представлены этапы развития и механизмы осуществления международного сотрудничества в рамках деятельности по реинтродукции атлантического лосося; приводятся данные об актуальном состоянии, а также имеющихся перспективах дальнейшего преумножения популяции атлантического лосося в реке Рейн.

Ключевые слова: атлантический лосось, популяция, ихтиоценоз, реинтродукция, международное сотрудничество, Рейн, гидроэнергетика.

ATLANTIC SALMON (SALMO SALAR) REINTRODUCTION IN THE RHINE RIVER BASIN: ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES

A.I. Nikiforov, E.A. Vaizova, Y.E. Baryshnikova

Russian Federal Research Institute Of Fisheries and Oceanography (VNIRO)

Summary. This paper analyses the results of 40 years of reintroduction of Atlantic salmon (Salmo salar) into the Rhine River basin and a number of its tributaries; the paper lists and discusses the most important reasons for the degradation of the native population of Atlantic salmon in the Rhine River during the last century, which resulted in the near-total extinction of this species from the ichthyofauna of the Rhine; the socio-economic, historical and ecological prerequisites for the development of the plans and implementation of the reintroduction programme are discussed in detail; the stages of development and mechanisms

of international co-operation in the framework of Atlantic salmon reintroduction activities are presented; data on the current status as well as available prospects for further enhancement of the Atlantic salmon population in the Rhine River are presented.

Key words: Atlantic salmon, population, ichthyocenosis, reintroduction, international co-operation, Rhine, hydropower.

Атлантический лосось (*Salmo salar* Linnaeus, 1758), благодаря своим непревзойдённым гастрономическим качествам, издревле служил важным объектом рыболовства, являясь желанной добычей рыбаков всех европейских стран. Сложный механизм постоянного взаимодействия живых особей с окружающей средой, зависящий от воздействия массы природных и антропогенных факторов, обеспечивает возможность устойчивого существования самовоспроизводящихся популяций анадромных лососевых рыб. В этой связи представляет немалый интерес изучение причин деградации популяции атлантического лосося в реке Рейн, а также рассмотрение перспектив её восстановления благодаря специально предпринимаемым мерам по реинтродукции и охране.

Рейн, как одна из крупнейших рек Европы (длина этой реки от истоков в Альпах до устья составляет 1320 км, водосборный бассейн занимает около 185000 км^2), в относительно недавнем прошлом являлся главным местом промысла атлантического лосося в Европе. Помимо Германии (на территории которой находится более половины бассейна реки), ресурсы Рейна делят между собой такие страны, как Нидерланды, Франция, Австрия, Швейцария, Бельгия, Италия, Люксембург и Лихтенштейн. Ретроспективные данные относительно масштабов лососевого промысла в Рейне говорят о том, что суммарный объём уловов этого вида рыб в конце XIX века достигал величины от 150 до 200 тысяч особей. Исходя из сохранившейся информации о средней массе добывавшихся в то время в Рейне особей (3,5 - 4 кг), можно заключить, что совокупная биомасса годового улова атлантического лосося в те времена вполне могла составлять 750 – 800 т [1].

Но, по мере развития индустриализации в Европе, негативное антропогенное влияние на ихтиоценозы Рейна усиливалось, что не могло не сказаться отрицательно на величине уловов атлантического лосося. Так, согласно имеющимся статистическим сведениям в отношении рыболовства на Рейне, количество лосося, вылавливаемого за год на голландском участке, с начала XX века постоянно снижалось, и к 40-м годам прошлого века достигло величины 1000 – 2000 экземпляров рыб, а к 1945 году снизилось до всего лишь нескольких сотен особей. В дальнейшем – сначала на голландском, а затем и на германском участках бассейна Рейна – организованная промышленная добыча атлантического лосося была прекращена вследствие нерентабельности из-за крайне низких уловов [1].

Основными причинами столь резкого падения численности атлантического лосося в Рейне послужили множественные негативные экологические эффекты, порождаемые индустриализацией. Так, река постоянно загрязнялась неочищенными бытовыми, сельскохозяйственными и промышленными стоками; кроме того, на самом Рейне и многих его притоках (в верховьях которых располагались основные нерестилища лосося) произошли масштабные гидротехнические преобразования русла вследствие развития гидроэнергетики.

Весь этот комплекс причин привёл в итоге к существенному ухудшению качества воды в бассейне реки Рейн, постепенной деградации и непосредственной утрате основных нерестилищ атлантического лосося, а также необратимому нарушению исконных миграционных путей вследствие возникновения на них непреодолимых для движущихся на нерест производителей атлантического лосося преград (плотин, шлюзов и т.п.), не оборудованных устройствами для их преодоления

мигрирующими рыбами. Параллельно с изменением гидрологического режима реки, непрерывно ухудшающееся качество воды в ней привело к тому, что в июле 1950 года (по инициативе Нидерландов) была создана Международная комиссия по защите Рейна (International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR)). На первом заседании данной комиссии представителями Нидерландов, Швейцарии, Германии, Люксембурга и Франции подробно обсуждались неотложные задачи предотвращения дальнейшего загрязнения данной реки [2].

Как показали дальнейшие события, усиливающаяся обеспокоенность стран, пользующихся водами Рейна для различных нужд (в т.ч. попытки введения контроля за стоками), были абсолютно оправданна. В 1969 году произошла первая из нескольких крупных экологических катастроф, связанных с бассейном этой реки, в ходе которой в реку Майн (приток Рейна) произошёл залповый сброс высокотоксичного для всех гидробионтов вещества – инсектицида тиодана. Это вызвало масштабную гибель рыбы и других гидробионтов в Рейне от места впадения притока Майн и вплоть до самого устья Рейна. Данная катастрофа вызвала волну серьёзнейшей обеспокоенности как населения, так и администрации. В дальнейшем, на волне роста общественного внимания к проблемам Рейна, была начата разработка Конвенции о защите Рейна от химического загрязнения (принята частью стран, пользующимися водами Рейна, в 1976 г.) [3].

Причиной следующей ужасающей (и одной из крупнейших в Европе в XX веке) экологической катастрофы на Рейне явился пожар, начавшийся 1 ноября 1986 г. на складе компании Sandoz AG, располагавшемся вблизи города Базеля (Швейцария). В ходе тушения этого масштабного пожара в реку были смыты десятки тонн концентрированных высокотоксичных пестицидов, что привело к тотальной гибели всего живого в Рейне на протяжении сотен километров вниз по течению. Происшествие вызвало сильнейший общественно-политический резонанс, продемонстрировав необходимость срочной активизации действий, направленных на борьбу с загрязнением Рейна, а также недопущением впредь подобных инцидентов.

В результате к маю 1987 года страны, входящие в Международную комиссию по защите Рейна, разработали и утвердили Программу действий по Рейну. К основным целям данной Программы относилось снижение уровня загрязнения вод Рейна до безопасного уровня (допускающего использование воды для питьевого водоснабжения населения), а также восстановление в реке Рейн к 2000 году популяции атлантического лосося [3], [4]. Помимо вышеуказанного, экологическая катастрофа, вызванная пожаром на складе компании Sandoz AG, явилась весьма мощным толчком к дальнейшему усовершенствованию Конвенции о защите Рейна (Convention on the Protection of the Rhine (CPR)), которая в итоге была в 1999 году подписана Германией, Францией, Люксембургом, Нидерландами, Швейцарией и ЕС. До настоящего времени является основой международного сотрудничества по защите экосистемы Рейна.

К основным декларированным целям данной Конвенции были отнесены такие аспекты, как: устойчивое развитие экосистемы Рейна; сохранение воды Рейна в пригодном для питьевого водоснабжения состоянии; контроль за количеством, физическим состоянием и химическим составом рейнских донных отложений; комплексное предотвращение наводнений в бассейне Рейна и защита от них с учетом экологических требований, а также восстановление нативных экосистем Северного моря [2; 3]. Также, с целью объединения усилий разных стран в интересах реализации Программы действий по Рейну, была разработана специализированная программа «Лосось-2000». Задачи данной программы были сфокусированы на действиях, необходимых для воссоздания самовоспроизводящейся популяции атлантического лосося в реке Рейн. В рамках программы «Лосось-2000» планировалось выполнение следующих задач: обеспечение успешной реинтродукции атлантического лосося в реку Рейн; восстановление среды обитания атлантического лосося; восстановление экологической непрерывности водотока

Рейна с целью обеспечение возможности для миграционных перемещений атлантического лосося в разные периоды его жизненного цикла; улучшение качества воды в Рейне и его важнейших притоках; разработка реализуемых решений по устранению гидротехнических сооружений и иных техногенных препятствий, блокирующих или затрудняющих миграцию лосося; разработка и тестирование методов контроля экологической непрерывности водотоков [5; 6].

Старт мероприятиям по выпуску молоди атлантического лосося в Рейн, в соответствии с программой «Лосось – 2000», был дан в 1990 году. Так как нативные популяции лосося к этому моменту в Рейне и его притоках практически исчезли, было принято решение использовать для реинтродукции потомство особей атлантического лосося, содержащихся на различных рыбоводных предприятиях и относящихся к популяциям из других европейских рек (в частности, из бассейна Луары) [7]. Одновременно с работами по зарыблению бассейна Рейна вышеупомянутой молодью атлантического лосося, странами, по территории которых протекает Рейн, были развернуты масштабные работы по учёту совершающих анадромную миграцию диких производителей этого вида, а также по выявлению и устранению препятствий на их пути для обеспечения свободного продвижения к нерестилищам в верховьях.

Одним из важных решений, принятых в рамках программы «Лосось-2000», стало обеспечение открытия на несколько сантиметров массивных створок шлюзового комплекса Харингвлиет близ Роттердама в период нерестовой миграции лосося, так как закрытые створки этого сооружения долгое время являлись серьёзнейшим препятствием на пути мигрирующих лососей. Также, исходя из указанных целей, странами (Германией, Швейцарией, Нидерландами и др.) проводились масштабные работы по оборудованию многочисленных плотин гидроэлектростанций, расположенных на Рейне и его притоках, рыбоходами – специальными гидротехническими сооружениями, позволяющими рыбе успешно и безопасно миновать плотину. Кроме того, были консолидированы данные, полученные в ходе проведённого учёта сохранившихся естественных нерестилищ в русле Рейна и его притоков. В случае необходимости, были осуществлены определённые действия по сохранению и восстановлению нерестилищ атлантического лосося. Результатом осуществления комплекса упомянутых выше мер стало постепенное увеличение количества лосося в Рейне. Так, согласно имеющимся данным учётов, за четверть века численность взрослых особей атлантического лосося практически с нулевой отметки возросла до нескольких сотен особей [8].

Но, тем не менее, к 2000 году, стало очевидно, что, несмотря на некоторые достигнутые успехи, для успешной реализации всех декларированных ранее планов в отношении реинтродукции атлантического лосося, настоятельно требуется продолжение реализации всего комплекса предпринимаемых действий. Поэтому программа «Лосось-2000» была обновлена, дополнена, и, под названием «Лосось – 2020», интегрирована в международную многоцелевую программу «Рейн –2020». В рамках обновлённой программы наиболее важными аспектами стали такие, как: восстановление местообитаний лосося в пределах ареала (в том числе, участков водотоков, подходящих для нагула молоди); регулярный контроль за качеством воды; продолжение работ по устранению разнообразных антропогенных препятствий на миграционных путях атлантического лосося [9].

Следует отметить, что в принятый в 2009 году Генеральный план «Мигрирующие рыбы Рейна» (реализация которого планировалась в рамках Программы действий по Рейну), в 2018 году были внесены обновления, касающиеся работ по восстановлению популяции атлантического лосося. Так, были декларированы следующие основные цели: учёт, сохранение, восстановление и поддержание в желательном состоянии нерестилищ и мальковых местообитаний; восстановление

сквозной проходимости речного бассейна Рейна в верхнем и нижнем течении для мигрирующих лососей; обеспечение защиты мигрирующих рыб в нижнем и верхнем течении; сокращение прилова и незаконного вылова атлантического лосося; обеспечение снижения негативного воздействия на молодь лосося хищных пресноводных рыб (сома, щуки и др.); проведение регулярных мероприятий по зарыблению бассейна Рейна подрощенной молодью атлантического лосося [10].

В ходе реализации вышеупомянутых действий целым рядом специалистов и организаций из стран-членов Международной комиссии по защите Рейна, к 2020 году более 600 антропогенных препятствий для мигрирующих лососей (шлюзов, плотин и т.д.) на Рейне и его притоках были устранены или оборудованы рыбопропускными сооружениями; более четверти исторических местообитаний атлантического лосося вновь получили связь с основным руслом Рейна. Закономерным результатом осуществления этих действий стало регистрирующееся ежегодное увеличение численности атлантического лосося до нескольких сотен производителей, совершающих анадромную миграцию [8].

Но, какими бы успешными ни казались достигнутые на сегодняшний день результаты – безусловно, при всей их значимости, до полного восстановления былых продукционных характеристик популяции атлантического лосося Рейна ещё очень далеко. Поэтому, с целью сохранения и преумножения запасов этого ценного компонента ихтиофауны, действия по его восстановлению продолжатся в рамках принятой странами-членами Международной комиссии по защите Рейна программы «Рейн – 2040». В ходе реализации этой программы планируется решить такие актуальные для всего бассейна Рейна проблемы, как: обеспечение возможности беспрепятственного осуществления лососем как анадромных (производителями), так и катадромных (молодью) миграций по Рейну от устья до Рейнского водопада; инвентаризация, сохранение и восстановление типичных «лососевых» местообитаний; развитие системы оперативного контроля за качеством и количеством донных отложений; обеспечение снижения до разумного минимума негативного антропогенного влияния на температурный и кислородный режимы вод Рейна и его притоков [8;10;11].

Также в рамках этой программы предусмотрено внедрение инновационных технических решений для минимизации травмирования производителей и молоди лососей при прохождении ими плотин гидроэлектростанций. Важно подчеркнуть, что перечисленные выше направления в значительной степени согласуются с основными целями рамочной директивы ЕС по водным ресурсам (Water Framework Directive), ориентированной на достижение экологического благополучия всех акваторий Европейского Союза [8; 10; 11].

Характеризуя в целом полученные на сегодняшний момент результаты в деле восстановления популяции атлантического лосося в реке Рейн, можно заключить, что, благодаря сознательной кооперации властных структур, научного сообщества и заинтересованной общественности стран-членов Международной комиссии по защите Рейна, достигнуты значимые успехи в указанном направлении. Так, с 1994 года в реке возобновился и ежегодно происходит естественный нерест лосося; к 2001 году в Рейне было зарегистрировано более 30 видов рыб, до этого считавшихся уже вымершими (что свидетельствует о постепенном восстановлении экосистемы Рейна после масштабной катастрофы 1986 г.); для лосося и других анадромных рыб к 2021 году была обеспечена миграционная проходимость значительной части бассейна Рейна [8]. Тем не менее, до окончательного решения задачи реинтродукции атлантического лосося в Рейне ещё очень далеко, и только регулярное, настойчивое и компетентное осуществление вышеупомянутых планов может обеспечить успешное достижение поставленной амбициозной задачи.

Список литературы

1. Dr. S.J. de Groot. Literature survey into the possibility of restocking the River Rhine and its tributaries with Atlantic salmon (Salmo salar) // Netherlands Institute for Fisheries Investigations (RIVO). – 1989. [Электронный источник] – URL: https://edepot.wur.nl/326238
2. Convention on the Protection of the Rhine // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). – 1999. [Электронный источник] – URL: https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Rechtliche_Basis/EN/legal_En_1999.pdf
3. History. Reasons for the cooperation // ICPR – International Commission for the Protection of the Rhine [Электронный источник] – URL: https://www.iksr.org/en/icpr/about-us/history/
4. Rhine Action Programme // International Commission for the Protection of the Rhine against Pollution. – 1987. [Электронный источник] – URL:https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Kommuniques/EN/com_En_APR.pdf
5. Lachs 2000. Wanderfische als Erfolgsindikatorenfur die okologische Wiederherstellung der Habitate und der Durchgangigkeit des Rheingebietes // Internationale Kommission zum Schutz des Rheins – 1998. [Электронный источник] – URL:https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/DE/rp_De_0099.pdf
6. Carel Dieperink. Successful International Cooperation in the Rhine Catchment Area // Water International, 25:3. – 2000. [Электронный источник] – URL:http://dx.doi.org/10.1080/02508060008686842
7. Master Plan Migratory Fish Rhine 2018 – an update of the Master Plan 2009 // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). – 2018 [Электронный источник] – URL: https://www.iksr.org/en/public-relations/documents/archive/technical-reports/reports-and-brochures-individual-presentation/247-master-plan-migratory-fish-rhine-2018-an-update-of-the-master-plan-2009
8. Assessment Rhine 2020 // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). – 2020. [Электронный источник] – URL:https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Broschueren/EN/bro_En_Assessment_%E2%80%9CRhine_2020%E2%80%9D.pdf
9. A Programme for Migratory Fish in the Rhine System // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). - 2004 [Электронный источник] – URL: http://conservationcorridor.org/cpb/Froehlich-Schmitt_2004.pdf
10. Master Plan Migratory Fish Rhine 2018 – an update of the Master Plan 2009 // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). – 2018. [Электронный источник] – URL:https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Fachberichte/EN/rp_En_0247.pdf
11. Rhine-2040. The Rhine and its Catchment: Sustainably Managed and Climate-resilient // International Commission for the Protection of the Rhine (ICPR). – 2020. [Электронный источник] – URL: https://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/DKDM/Dokumente/Broschueren/EN/bro_En_2040_long.pdf

УДК 581.526.325.2:502.51(571.13)

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОЛОНОВАТЫХ ОЗЕР ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

У.В. Пастушенко, Д.Л.Сукнев, Д.И. Наумкина
Новосибирский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ЗапСибНИРО»), Новосибирск, Россия

Аннотация. Наиболее широко распространенным видом среди беспозвоночных животных, обитающих в водоемах Западной Сибири, является рачок гаммарус (*Gammarus lacustris G.O.* Sars). Особенно высокую численность рачок имеет в продуктивных периодически заморных озерах. Основными биотопами гаммагуса являются мелководные водоемы разными грунтами, от илистых до опесчаенного дна, которые могут содержать большое количество сероводорода. Представлены данные о вылове гаммаруса в последние 2 года (2020, 2021 гг.), а также обследованы 10 озер Омской области. За последние 10 лет наблюдается систематический недолов.
Ключевые слова: Омская область, озера, гаммарус, вылов.

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF BRACKISH LAKES OF THE OMSK REGION

U.V. Pastushenko, D.L.Suknev, D.I. Naumkina
Novosibirsk Branch of the All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography (ZapSibNIRO), Novosibirsk, Russia

Summary. The most widespread species among invertebrates living in the reservoirs of Western Siberia is the Gammarus crustacean (Gammarus lacustris G.O. Sars). The crustacean has a particularly high number in productive periodically overseas lakes. The main biotopes of gammagus are shallow reservoirs with different soils, from muddy to sandy bottoms, which may contain large amounts of hydrogen sulfide. Data on the catch of gammarus in the last 2 years (2020, 2021) are presented, and 20 lakes of the Omsk region are surveyed. A shortage has been identified over the past few years.
Keywords: Omsk region, lakes, gammarus, catch.

Основная масса солоноватоводных озер представляет собой мелководные водоемы со средней глубиной менее 2,5 м. Общий фонд озер, даже при его нестабильности из-за колебаний уровня воды, весьма значителен. Вода в озерах, по данным исследований 2021 г., прогревалась в соответствии с ростом суточных температур воздуха. За счет мелководности водоемов, температура воды была практически равномерной по всей толще. Температурный режим был благоприятным для развития водных беспозвоночных во всех исследованных водоемах [1; 2; 3; 5].

Состояние запаса гаммарид в озерах Омской области обусловлено абиотическими и биотическими факторами: саморасселение ротана и карася, увеличение солености воды и ухудшение зимнего кислородного режима в результате изменений условий водности. Однако при улучшении условий обитания рачки способны в течение 2–3 лет полностью восстановить как ареал, так и численность. При изучении экологических границ жизнедеятельности гаммарид в условиях Западной Сибири выяснено, что наибольшая численность рачков наблюдается при содержании в воде 2,0–4,5 г/л солей, и рачки обычно не обитают в озерах с соленостью менее 0,3 и более 7,0 г/л [4].

Промысел гаммарид в Омской области ведется уже на протяжении нескольких десятков лет. Промыслом в разное время осваивалось около 70 промысловых водоемов.

Суммарная площадь озер, на которых определены рыболовные участки составляет около 2440 га. Площадь озер колеблется от 34 до 560 га, в среднем – 169 га. Все озера мелководные со средней глубиной около 2–3 м

Целью настоящей работы стало проанализировать изменения промысловой нагрузки на озера Омской области.

Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования послужили данные полученные в ходе гидробиологических исследований, проводимых в 2020 и 2021 гг., а так же данные по вылову предыдущих лет.

Отбор гидробиологического материала в период открытой воды осуществлялся на центральной и прибрежных станциях гаммаридных озер с помощью ловушки с входным отверстием прямоугольной рамки размером 20 на 40 см с фильтрующей поверхностью мельничного сита № 10 путем ручной пятиметровой протяжки [6,8].

Исследования по определению численности и биомассы популяций гаммарид, а также их основных продукционных характеристик вели в соответствии с методиками научных гидробиологических исследований планктонных и бентосных организмов [7].

Расчет промыслового запаса гаммарид проводился с учетом продукции популяции по следующей формуле:

$$\text{PB} = \text{B} \times \boldsymbol{S} \times \mathbf{2} \times \boldsymbol{k}, \text{ где}$$

B – средняя биомасса популяции гаммарид (т/га), S – площадь водоемов (га), 2 – P/B –коэффициент для популяций гаммарид в озерах юга Западно–Сибирской равнины, k – коэффициент изъятия (40 %).

Результаты и обсуждение

Озера исследованные в 2020 году имели площадь от 34 до 560 га, удельная биомасса гаммарид колебалась от 3,35 до 53,2 г/м^2 Исследованные в 2021 г. озера имели площади от 34 до 560 га, удельная биомасса гаммарид колебалась от 8,9 до 36,7 г/м^2, минерализация колебалась от 2,47 до 4,26 г/л (табл. 1).

Таблица. Величины минерализации и удельной биомассы гаммарид в солоноватых озерах Омской области в 2020, 2021 гг.

Название водоема	**Площадь водоема, га**	**май 2020**		**май 2021**	
		Минерализация, г/л	**Удельная биомасса г/м^2**	**Минерализация, г/л**	**Удельная биомасса, г/м^2**
Большой Батакуль	110	3,35	5,7	–	–
Большое Калмакульское	125	3,59	20	2,74	35
Жилое (д. Урусово)	248	4,21	10,1	3,35	20,1
Арапово	34	–	–	3,39	36,7
Жилое (д. Карманово)	180	–	–	2,47	13,9
Пестрое	94	3,75	53,2	–	–
Атрачи	560	3,47	3,35	3,26	8,9
Горчаково	88	–	–	4,26	28,4
Малые Кызырлы	172	–	–	3,75	21,8
Сурас	113	–	–	3,85	27,65
Среднее	–	3,69	18,47	3,38	24,06

В связи с мелководностью озер Омской области ежегодно происходят гидрологические и гидрохимические изменения, влияющие на состояние запаса

гаммарид. По сравнению с 2020 г. в 2021 г. средняя удельная биомасса, увеличилась с 18,47 до 24,06 г/м^2.

По наблюдениям в весенний период 2020 и 2021 г., в озерах численность гаммарид увеличилась с 3299,2 тыс. экз./га в 2020 г. до 4481,8 тыс. экз./га в 2021 г. Средняя удельная биомасса гаммарид в озерах составила в 2020 г. 184,47 кг/га, в 2021 г. – 240,56 кг/га.

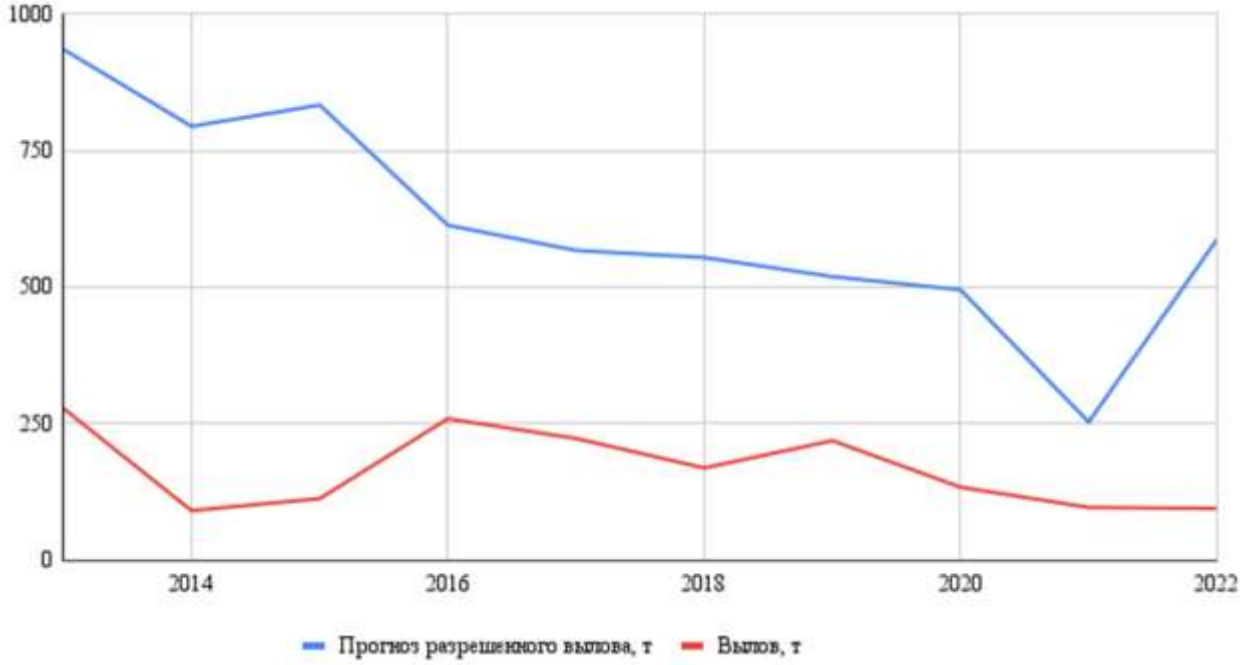


Рис. 1. Динамика разрешенного и фактического вылова за 2014-2022 гг.

Анализируя изменения графика, показывающего динамику вылова из озер, можно сказать, что за последние 10 лет наблюдается систематический недолов. Максимальное освоение квот (более 40%) наблюдалось лишь в 2019 году. Это негативно влияет и на качество добываемых организмов, так как известно, что при изъятии части особей гаммарид из водоема средний размер оставшихся увеличивается.

Заключение

Таким образом, требуется более тщательный мониторинг промысловых солоноватых водоемов Омской области. Также возможна аккуратная интенсификация промысла на гаммаридных озерах, так как потенциал этих водоемов позволяет добывать больше сырья, а при усилении промысла качество его улучшается, но следует внимательно относиться к количеству и сезонности, чтобы не допустить переловов.

Список литературы

1. *Визер, Л.С.* Гаммарус /Л.С.Визер. – Новосибирск. – 2017. – 28 с.
2. *Визер, Л.С.* Особенности биологии *Gammarus lacustris* Sars. и его запасы в озерах Новосибирской области /Л.С.Визер// Задачи и проблемы развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах Сибири: материалы конференции по изучению водоемов Сибири. – Томск, 1996. – С. 45-46.
3. *Веснина, Л.В.* Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования/ Л.В. Веснина, А.А. Ростовцев, В.П. Соловов, Т.Л. Студеникина – Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН. – 1999. – 285 с.
4. *Евстигнеев, В.В.* Основы сырьевой базы гидробионтов: учебно-методическое пособие/ В.В. Евстигнеев, М.А. Подуровский, В.П. Соловов. – Барнаул: АлтГТУ. – 1997. – 109 с.

5. *Козлов, О.В.* Промысловая гидробиология озерных беспозвоночных: Учебное пособие / О.В. Козлов, А.П. Садчиков. Под ред. Н.Г. Ионина. – М.: МАКС Пресс. – 2002. – 36 с.
6. *Литвиненко Л.И.* Методы определения общих допустимых уловов (ОДУ) водных беспозвоночных / Л.И. Литвиненко. – Тюмень, 2008. – 36 с.
7. Методические указания «Определение общих допустимых уловов (ОДУ) амфиподы *Gammarus lacustris*». – Тюмень: Госрыбцентр. – 2004. – 17 с.
8. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. – Л.: ГосНИОРХ. – 1984. – 52 с.

УДК 574.23.24/639.3.05

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БИОПОТЕНЦИАЛА РЫБ В АКВАКУЛЬТУРЕ

А.Г. Селюков[1,2], В.П. Елькин[3], А.Н. Самсонов[3]
[1]ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия
[2]Лаборатория «AquaBioSafe», ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия
[3]ООО «Позитив Техно-синтез», Тюмень, Россия

Аннотация. Высокий уровень загрязнения пресноводных и морских гидроэкосистем разнородными физическими и химическими факторами угнетают водную биоту, высший трофический уровень которой представлен рыбами. Они же аккумулируют значительные количества неметаболизируемых токсикантов, подавляющих продукционные и генетические характеристики, что вызывает снижение численности и ведет к депопуляции. В хозяйствах аква- и марикультуры такие негативные явления снимаются, повышается рыбопродуктивность, а применяемые инновационные подходы ориентированы на создание качественных кормов, генетико-селекционные работы с разводимыми объектами, благоприятных условий культивирования и мониторинга. Нами в результате многолетних исследований и производственных экспериментов проводились работы на объектах товарного и компенсационного рыбоводства с использованием определенных режимов генерации сверхслабых импульсных магнитных полей («Телос»-технологии). Работы выполнялись преимущественно на сиговых рыбах и было установлено повышение неспецифической токсикорезистентности, темпа роста, развития, сбалансированности морфометрических и репродуктивных характеристик.
Ключевые слова: рыбы, патогистологии, аквакультура, инновационные биотехнологии, токсикорезистентность, репродукционный потенциал.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR INCREASING FISH BIOPOTENTIAL IN AQUACULTURE

A.G. Selyukov[1,2], V.P. E'lkin[3], A.N. Samsonov[3]
[1]FSAEI HE "Tyumen State University", Tyumen, Russia
[2]"AquaBioSafe Laboratory", "Tyumen State University", Tyumen, Russia
[3]OOO "Positive Techno-synthesis", Tyumen, Russia

Summary. The high level of pollution of of freshwater and marine hydroecosystems by heterogeneous physical and chemical factors depresses the aquatic biota, the highest trophic

level of which is represented by fish. They also accumulate significant amounts of non-metabolizable toxicants that suppress production and genetic characteristics, which cause a decrease in numbers and leads to depopulation. In aqua- and mariculture farms, such negative phenomena are removed, fish productivity increases, and the applied innovative approaches are focused on the creation of high-quality feed, genetic breeding work with bred objects, favorable conditions for cultivation and monitoring. As a result of many years of research and production experiments, we have carried out work on commercial and compensatory fish farming facilities using certain modes of generation of ultra-weak pulsed magnetic fields ("Telos" technology). The work was carried out mainly on whitefish and an increase in nonspecific toxicoresistance, growth rate, development, balance of morphometric and reproductive characteristics was found.
Keywords: fish, pathohistology, aquaculture, innovative biotechnologies, toxicoresistance, reproductive potential.

Рыбы пресноводных и большинства морских экосистем занимают высший трофический уровень, и в условиях контаминации среды накапливают ксенобиотики. Большинство загрязнений представлены химическими соединениями: нефть, нефтепродукты, пестициды, ПАУ, фармпрепараты, тяжелые металлы, пластик и т.д. [23; 25].

В Российской Федерации значительное количество водных объектов оценивалось (2021 г.) как «загрязненные», а в 58 из 89 регионов было зафиксировано «высокое» и «экстремально высокое» загрязнение поверхностных вод [18].

Длинноцикловые виды, в отличие от короткоцикловых, к моменту полового созревания аккумулируют токсиканты, длительное воздействие которых угнетает здоровье, снижает генеративный потенциал [22], отчего их потомство отличается пониженной жизнестойкостью, что ведет к депопуляции. Но именно эти виды — осетровые, лососевые, сиговые, карповые — наиболее востребованы в рыбоводстве, а среди них наименее устойчивы к интоксикации сиговые рыбы [1; 8].

Для объективной оценки состояния здоровья и репродуктивного успеха рыб применяются такие гистологические маркеры как жабры [3; 4; 5; 19], печень [19; 32], почки [3] и гонады [1; 2; 7; 8; 22].

В ходе работ, проводимых в 1987-2022 гг. на водоемах Обь-Иртышского бассейна, нами отмечались значительные патологии внутренних органов у туводных рыб, преимущественно — сиговых. Было показано [8; 9], что патологические изменения в жаберном аппарате проявляются в срастании респираторных ламелл, десквамации, отеках, дегенерации клеток эпителия (рис. 1 а). Степень их патологии обусловлена продолжительностью жизненного цикла и характером питания. Так, если в жабрах планктофага пеляди зимующей в Обской губе, отклонения встречаются у половины исследованных рыб, то у бентофагов муксуна и чира они зарегистрированы почти у всех особей.

В печени, основном органе детоксикации, выявлены патологические изменения в виде цирротических разрастаний стенок сосудов, дегенеративных изменений гепатоцитов, расслоении и кавернизации печеночной паренхимы.

Нарушения репродуктивной системы у рыб проявляются в дегенерации гонад, атрезии ооцитов в яичниках и патологии сперматоцитов в семенниках, появлении оотестисов (рис. 1 б-г) [21; 24; 29].

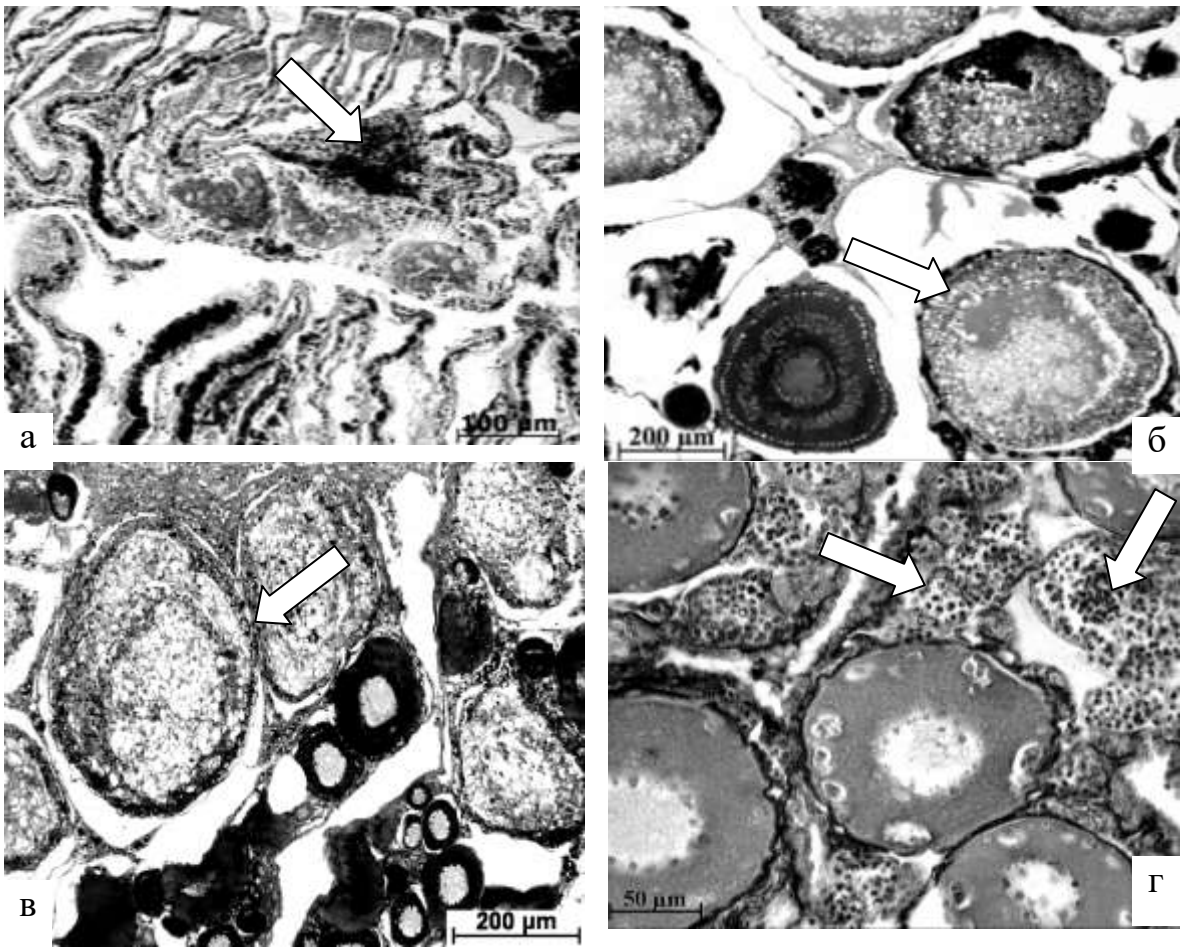


Рис. 1. Состояние жаберного эпителия и репродуктивной системы сиговых рыб в Оби: а – муксун (Обская губа); жабры с дегенерирующими ламеллами (стрелка); б, в – дегенерация вителлогенных ооцитов; г – оотестис; среди превителлогенных ооцитов присутствуют массы цист сперматоцитов. Краситель: гематоксилин-эозин.

В морских экосистемах наибольшие загрязнения ксенобиотиками приходятся на прибрежные и шельфовые зоны [27; 30; 31], где обитает более 90% видов рыб, проходят их нерест и развитие [20; 28]. Так, в ряде загрязненных (Севастополь, Крым; Туапсе, Кавказ) и условно чистых (о-в Малапаскуа, Филиппины) прибрежных морских экосистемах у разновозрастных рыб разных систематических групп мы также отмечали патологические изменения в жаберном аппарате (рис. 2 а-в), печени и гонадах (рис. 2 г), аналогичные нарушениям этих органов у пресноводных видов [12, 15].

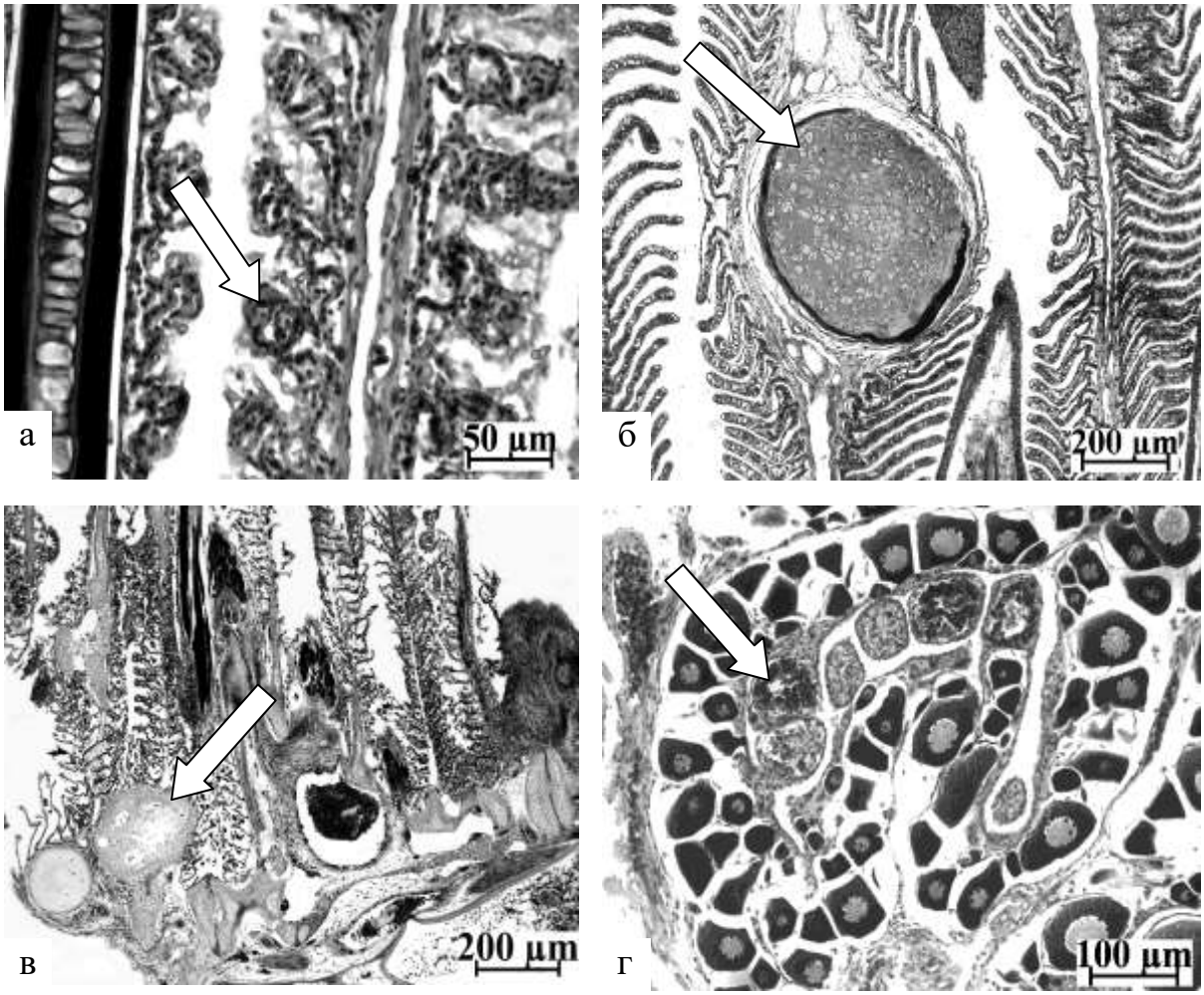


Рис. 2. Гистопатологии (стрелки) жаберного аппарата и гонад морских рыб в загрязненных и условно чистых прибрежных водах: а – черноморская скорпена; дегенерация жаберного эпителия; (Севастополь, Стрелецкая бухта); б – ч. скорпена; разрастание хрящевой основы филамента (хондрома) (Севастополь, Балаклавская бухта); в – темный сиган; хондромы в основании филаментов (о-в Малапаскуа, Филиппины); г - ч. скорпена; полная дегенерация вителлогенных ооцитов (Севастополь, Стрелецкая бухта). Краситель: гематоксилин-эозин.

Очевидно, что для повышения выживаемости рыб в условиях высокого загрязнения пресноводных и прибрежных морских экосистем на фермах аква- и марикультуры необходимо применение инновационных биотехнологий, обеспечивающих повышение иммуно- и токсикорезистентности молоди, формирование ее репродукционного потенциала, устойчивого к экстремальным экологическим условиям.

Сложившаяся практика компенсационных мероприятий, при которой из природных популяций отбираются производители, а после получения и подращивания потомства его выпускают в прежнюю неблагополучную среду, очевидно, малоэффективна. Для решения этой проблемы можно обратиться к практике некоторых биотехнологических подходов. Так, нами в период с 1996 по 2023 гг. проводились экспериментальные лабораторные и производственные работы по активизации природного биопотенциала сиговых рыб, повышению их продуктивности и неспецифической резистентности в нормальных условиях и при интоксикации неорганическими и органическими соединениями. В качестве протекторного фактора применялись сверхслабые импульсные магнитные поля (СИМП), генерируемые

аппаратно-программным комплексом, разработанным для медицинских целей и сертифицированным в Центре радиобиологии неионизирующих излучений ИБ МЗ РФ [6; 17].

В эксперименте с водорастворимой фракцией нефти (5 ПДКрбхз) с молодью тугуна *Coregonus tugun* было показано [10], что интоксицированные особи погибали через 15-17 сут (рис. 3 а), и гистологический анализ продемонстрировал значительные нарушения их органов (рис. 3 в). Обработанная СИМП молодь в аналогичных условиях интоксикации отличалась повышенной выживаемостью (рис. 3 б), а морфофункциональное состояние ее внутренних органов до завершении эксперимента (33 сут) оставалось почти без изменений (рис. 3 г). Полученные данные согласуются с результатами наших работ с пелядью в производственных условиях на Аракульском рыбозаводе в Челябинской области [11], а также с чиром и муксуном на базе Собского р/з и с муксуном в Уватском центре аквакультуры, где была продемонстрирована большая выживаемость в растворах токсикантов, повышенная токсикорезистентность, более интенсивный соматический рост и значимый репродукционный потенциал [13; 14; 16].

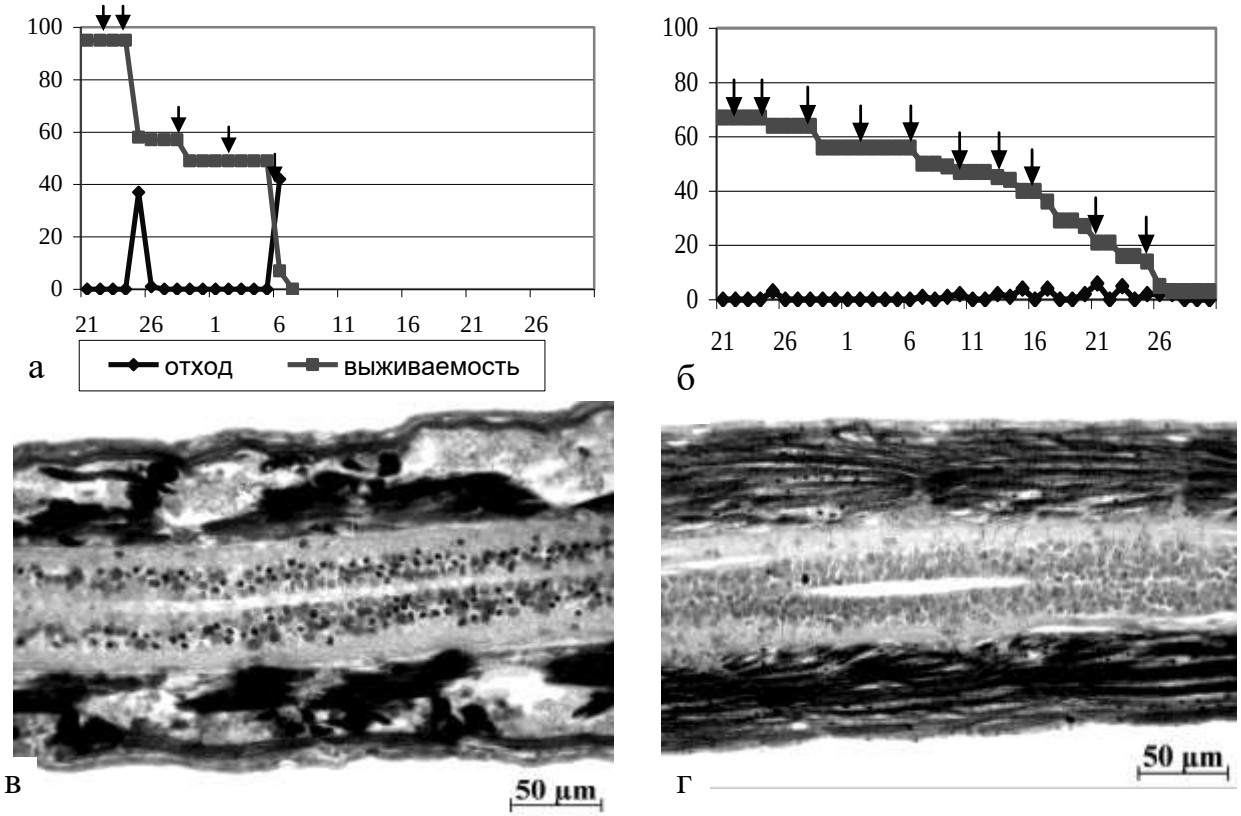


Рис. 3. Динамика выживаемости (а, б) и морфофункциональное состояние (в, г) молоди тугуна контрольной (а, в) и обработанной СИМП (б, г) партий в водном растворе ВРФН (0,025 мг/л): а, б – стрелки указывают на смену раствора. По оси ординат – количество (шт.), по оси абсцисс – дата (апрель-май); в, г – состояние соматической мускулатуры и спинного мозга тугуна; хорошо видны деструкция соматической мускулатуры и нейроцитов у контрольной партии.

Таким образом, проведенные исследования рыб разных систематических групп с разной продолжительностью жизненного цикла продемонстрировали благоприятное влияние СИМП на их рост и развитие, в т.ч. – протекторную роль в отношении экстремальных природных и техногенных факторов.

Использование данного подхода в компенсационном и товарном рыбоводстве как

в пресноводной аквакультуре, так и марикультуре, позволит улучшить эффективность рыбоводных работ, повысить неспецифическую резистентность разводимых рыб с одновременным повышением экологического статуса и самих рыбохозяйственных предприятий.

Финансирование. Исследование проводилось при частичной финансовой поддержке Правительства Тюменской области в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра Проект № 89-ДОН (2).

Список литературы

1. *Лукин, А.А.* Система воспроизводства сига *Coregonus lavaretus* в условиях многофакторного загрязнения /А.А. Лукин// Вопр.ихтиологии. – 2000. – Т.40. № 3. – С.425-428.

2. *Лукин А.А.* Патологии микроструктуры генеративных органов самок сига *Coregonus lavaretus* оз. Имандра /А.А. Лукин, Ю.Н. Шарова // Вопр. ихтиологии. – 2002. – Т. 42. № 1. – С. 114-120.

3. *Лукин, А.А. Проблемы* здоровья рыб в водных объектах Северо-Запада России /А.А. Лукин, Ю.Н. Лукина //Тр. ВНИРО. – 2015. – Т.157. – С. 32-44.

4. *Матей, В.Е.* Функциональная морфология жаберного эпителия пресноводных костистых рыб /В.Е. Матей //В кн.: Физиология, биохимия и токсикология пресноводных животных. – Л.: Наука. – 1990. – С. 104-141.

5. *Матей, В.Е.* Жабры пресноводных костистых рыб: Морфофункциональная организация, адаптация эволюция /В.Е. Матей – СПб.: Наука. – 1996. – 204 с.

6. *Пичугин, В.Ю.* Модифицирующее влияние слабых импульсных магнитных полей на свойства питьевой воды / В.Ю. Пичугин, А.И. Солодилов, В.В. Энговатов // Проблемы противолучевой защиты.– М. 1998. – С. 59.

7. *Селюков, А.Г.* Гаметогенез и половые циклы / А.Г. Селюков //В кн.: Пелядь: Систематика, морфология, экология, продуктивность (под ред. Ю.С.Решетникова). – М.: Наука. – 1989. – С. 167-188.

8. *Селюков*, А.*Г.* Морфофункциональный статус рыб Обь-Иртышского бассейна в современных условиях / А.Г.Селюков. – Тюмень: ТюмГУ. – 2007. – 184 с.

9. Селюков, А.Г. Морфофункциональные изменения рыб бассейна Средней и Нижней Оби в условиях возрастающего антропогенного влияния / А.Г. Селюков // Вопр. ихтиологии. – 2012. – Т. 52, № 5. – С.581-600.

10. *Селюков, А.Г.* Протекторное действие слабых импульсных магнитных полей в раннем онтогенезе тугуна *Coregonus tugun* (Pallas) в условиях хронического нефтяного загрязнения / А.Г. Селюков, Г.Н. Беспоместных // Экология. – 2006. – №5. – С. 365-371.

11. *Селюков, А.Г.* Слабые взаимодействия и регомеостаз живых систем (прикладной аспект) / А.Г. Селюков, А.И. Солодилов, В.П. Елькин Монография. – Тюмень:ТюмГУ. – 2008. – 192 с.

12. *Селюков, А.Г.* Гистопатологические изменения жаберного аппарата черноморской скорпены *Scorpaena porcus* как индикатора состояния прибрежных морских вод / А.Г. Селюков, В.С. Чернов, Г.В. Жуков и др. // Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование. Материалы Всеросс. научн. конф. – Севастополь: Колорит. – 2018. – С. 228–233.

13. *Селюков, А.Г.* Проблемы компенсационного рыбоводства: повышение адаптационного потенциала чира *Coregonus nasus* (Pallas) в раннем онтогенезе слабыми магнитными полями. 1. Морфометрический анализ /А.Г. Селюков, Е.В. Ефремова С.А. Селюкова, Л.А. Шуман //Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020. – № 11. – С. 32-46.

14. *Селюков, А.Г.* Проблемы компенсационного рыбоводства: повышение адаптационного потенциала чира *Coregonus nasus* (Pallas) в раннем онтогенезе слабыми

магнитными полями. 2. Гистологический анализ /А.Г. Селюков, С.А. Селюкова, Л.А. Шуман, Е.В. Ефремова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020. – № 12. – С. 28-40.
15. *Селюков, А.Г.* Оценка состояния популяций двух видов рыб *Siganus fuscescens* (Houttuyn, 1782) и *Gerres oblongus* (Cuvier, 1830) (ACTINOPTERYGII: PERCIFORMES), обитающих в сублиторальной зоне острова Малапаскуа (Филиппины) / А.Г. Селюков, О.Н. Жигилева, А.И. Боричевская, С.С. Шадрина / Биология моря. – 2022. – Том 48, № 6. – С. 397‑401.
16. *Селюкова, С.А*. Повышение биопотенциала молоди муксуна *Coregonus muksun* сверхслабыми импульсными магнитными полями в условиях рыбоводного хозяйства / С.А. Селюкова, Е.В. Пищенко, Е.В. Ефремова и др. // Рыбное хозяйство. – 2023. – №6 (*принято в печать*).
17. Патент РФ №2155081. Способ обработки вещества магнитным полем и устройство для его осуществления / А.И. Солодилов. – М, 2000.
18. Экология в регионах России. Оценка масштаба проблемы на основании доступных статистических данных, 2020–2021 гг. – М., 2022. – 46 с. https://techno.st/materials/ekologiya[https://www.meteorf.gov.ru/press/news/29430/]
19. *Abbaszadeh, M.* An application of histological technique for monitoring health status of fish species, *Leuciscus aspius (*Linnaeus, 1758) inhabiting Aras River, Iran. / M. Abbaszadeh, T. Şişman / Caspian J. Envin. Sci. – 2021. – 19 (2). – P. 187-199.
20. *Balk, L.* Biomarkers in natural fish populations indicate adverse biological effects of offshore oil production / L. Balk, K. Hylland, T. Hansson et al. / PLoS ONE. – 2011, – 6(5), – e19735. doi:10.1371/ journal.pone.0019735.
21. *Bernet, D.* Macroscopic gonadal deviations and intersex in developing whitefish *Coregonus lavaretus* / D. Bernet, Th. Wahli, S. Kipfer et al. / Aquat. Biol. – 2009, –6, – P. 1–13. – doi: 10.3354/ab00159.
22. *Bhat, R.A.* Effects of heavy pollution in different water bodies on male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reproductive health / R.A. Bhat, C. Saoca, C.F. Cravana et al. /Envi ron. Sci. Pollut. Res. – 2023, – 30 – P. 23467–23479 – https://doi.org/10.1007/s11356-022-23670-wC.
23. *Foley, M.* Anadromous fish as biomarkers for the combined impact of marine and freshwater heavy metal pollution / M. Foley, N. Askin, M.P. Belanger et al. / Ecotox Environ Safety. – 2022, – 230, – P. 113-153. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113153.
24. *Grim, K.C.* Intersex in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) used as negative controls in toxicologic bioassays: a review of 54 cases from 41 studies / K.C. Grim, M. Wolfe, T. Hawkins et al. / Environ. Toxicol. Chem. – 2007, – 26, – P. 1636–1643.
25. *Guerrera, M.C.* Micro and nano plastics distribution in fish as model organisms: histopathology, blood response and bioaccumulation in different organs / M.C. Guerrera, M. Aragona, C. Porcino et al. /Appl. Sci. – 2021, – 11, – 5768. doi.org/10.3390/app11135768.
26. *Gusso-Choueri, P.K.* Univariate or multivariate approaches for histopathological biomarkers in the context of environmental quality assessments? / P.K. Gusso-Choueri, R.B. Choueri, G.S. de Araújo et al. / Mar. Pollut. Bull. – 2022, – 181, – 113828. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113828.
27. *Maharajan, A.* Histopathology biomarker responses in Asian sea bass, *Lates calcarifer* (Bloch) exposed to copper / A. Maharajan, R. Kitto, P.S. Paruruckumani et al. / J. Basic. Appl. Zool. – 2016, – 77, – P. 21–30. https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2016.02.001.
28. *Nos, D.* The influence of ecological factors in the modulation of pollution biomarkers of two small pelagic marine fish. Mar. / D. Nos, J. Navarro, M. Sole/ Pollut. Bull. – 2023, – 188, – 114717. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114717.
29. *Rohani, Md-F.* Pesticides toxicity in fish: Histopathological and hemato-biochemical aspects: a review / Md-F. Rohani / Emerging Contaminants. – 2023, – 9, – 100234 https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100234.

30. *Sangur, K.* Mudskipper as an indicator species for lead, cadmium and cuprum heavy metal pollution in the Mangrove, Ambon, Indonesia / K. Sangur, F. Leiwakabessy, H. Tuaputty et al./ J. Ecol. Engin. – 2021, – 22(4), – P. 1–19. https://doi.org/10.12911/22998993/134077
31. *Todd P.A.* Impacts of pollution on marine life in Southeast Asia / P.A. Todd, X. Ong, L.M. Chou / Biodiversity Conserv. – 2010. – № 19. – P. 1063−1082.
32. *Vidya, P.V.* Hepatic histopathological in *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) under silica nanoparticles toxicity / P.V. Vidya, K.P. Asifa, K.S. Chitra / Indian J. Exp. Biol. – 2019. – 57. – P. 293-296.

УДК 639.3.07

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЕНСАЦИОННОМ РЫБОВОДСТВЕ

С.А. Селюкова[1], Е.В. Пищенко[2]
[1]ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия. e-mail: seliukovasvet@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет», Новосибирск, Россия. e-mail: fish@panor.ru

Аннотация. Рассматриваются результаты морфометрического и гистологического анализов контрольной и обработанной сверхслабыми импульсными магнитными полями молоди чира и муксуна, подращиваемой в установках замкнутого цикла (УЗВ) на Собском рыбоводном заводе в 2021-2021 гг. Выявлены более быстрый рост и развитие у подопытной молоди обоих видов. Установлены более высокие показатели генеративного развития у экспериментальных особей, начиная с первых этапов постэмбрионального онтогенеза, которые проявились в достоверно большем числе первичных гоноцитов и гониев, ускорении дифференцировки пола. Рассматривается включение данной инновационной технологии в практику индустриального рыбоводства.

Ключевые слова: чир, муксун, индустриальное рыбоводство, морфометрия, гистология, сверхслабые импульсные магнитные поля.

APPLICATION OF INNOVATIVE BIOTECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL FISH FARMING

S.A. Selyukova[1], E.V. Pishchenko[2]
[1]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Tyumen State University», Tyumen, Russia seliukovasvet@yandex.ru
[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Novosibirsk State Agrarian University», Novosibirsk, Russia fish@panor.ru

Summary. The results of morphometric and histological analyses of control and treated with ultra-weak pulsed magnetic fields of juvenile chira and muksun, reared in closed-loop installations (UZV) at the Sob fish hatchery in 2021-2021 are considered. Faster growth and development were revealed in experimental juveniles of both species. Higher indicators of generative development in experimental individuals have been established, starting from the first stages of postembryonic ontogenesis, which manifested themselves in a significantly greater number of primary gonocytes and gonias, acceleration of sex differentiation. The inclusion of this innovative technology in the practice of industrial fish farming is being considered.

Keywords: broad whitefish, muksun, industrial fish farming, morphometry, histology, ultra-weak pulsed magnetic fields.

Сиговые рыбы, как представители арктического пресноводного комплекса, наименее устойчивы, в отличие от карповых и окуневых, к воздействию многофакторного загрязнения [3; 7]. Многолетняя аккумуляция в организме токсикантов ведет к цитоморфологическим аномалиям, низкому качеству половых продуктов, пониженной жизнеспособности потомства, его уродствам и гибели.

Наиболее ценными и востребованными в холодноводном рыбоводстве видами сиговых рыб являются муксун и чир, численность которых в последние десятилетия устойчиво снижается. Так, за тридцатилетний период шестикратно сократилась численность обского чира [1], в еще большей степени – обского муксуна, что привело к запрету (Минсельхоз РФ) его вылова с 2015 года. Проводимые компенсационные мероприятия по восстановлению запасов этих видов не вполне достаточны, т.к. при выпуске подрощенной молоди в природные воды она вновь попадает в экстремальные условия. Разработка и применение биотехнологий, обеспечивающих не только повышенный темп ее роста, но и неспецифическую устойчивость к экстремальным факторам среды, в настоящее время становится актуальным направлением в рыбоводстве.

Цель работы: оценка уровня сбалансированности и темпа морфофункционального развития обработанной сверхслабыми импульсными магнитными полями молоди чира и муксуна обских популяций в условиях сигового рыбоводного хозяйства компенсационного направления.

Материал и методика

В феврале–мае 2020 г. и апреле–августе 2021 г. на базе УЗВ Собского рыбоводного завода (пос.Харп, ЯНАО) был поставлен производственный эксперимент с зародышами и молодью чира и муксуна. С применением аппаратного дистанционно-программируемого комплекса «Т-102П» [5], генерирующего сверхслабые импульсные магнитные поля (ССИМП), проводили (В.П.Елькин, А.Н.Самсонов и А.Г.Селюков) обработку эмбрионов на завершающих этапах эмбриогенеза. Количество обработанных зародышей чира (февраль, 2020 г.) составило 7,9 млн. экз., муксуна (апрель, 2021 г.) – 8,1 млн.экз. Условия содержания приведены в [8-10].

Для морфометрического анализа молодь контрольной и опытной партий чира и муксуна фиксировали в 4% формалине, для гистологического – в смеси Бродского. Морфометрию опытной и контрольной партий чира (92 сут) характеризовали по следующим признакам: L – общая длина тела; L1 – длина тела без C; AA – антеанальное расстояние; CL – длина хвостового стебля; H – наибольшая высота тела; h – наименьшая высота тела; lc – длина головы; hc – высота головы; do –диаметр глаза; PL – длина грудного плавника; P – масса тела. Морфометрию муксуна (83 сут): L1 – длина тела без C; AA – антеанальное расстояние; H – наибольшая высота тела; h – наименьшая высота тела; lc – длина головы; hc – высота головы; do – диаметр глаза; P – масса тела. Дистанцию расстояний между признаками у молоди контрольной и опытной партий оценивали с помощью кластерного анализа, используя двухсвязный парно-групповой метод в метрике «1 – Пирсон r» пакета STATISTICA (StatSoft, Inc., v12).

Изготовление гистологических препаратов осуществляли с использованием стандартных гистологических методик [4]. Препараты окрашивали железным гематоксилином по Гейденгайну с докраской эозином [6]. На микроскопе «AxioImager A1» («Zeiss») через видеокамеру AxioCam MRc5 с использованием программы AxioVision Release 4.7.1 («Zeiss») препараты фотографировали при увеличении: окуляр 10x, объектив 100x.

Результаты и обсуждение

Морфометрический анализ

Чир. У молоди контрольной и экспериментальной партий в раннем постэмбриональном онтогенезе различия в размерно-весовых показателях были незначительны, но уже к трехнедельному возрасту (21 сут) морфометрические параметры подопытных особей несколько превосходили показатели контрольных мальков и данная тенденция сохранялась вплоть до выпуска молоди на нагул в р.Обь. Однако при оценке степени скоррелированности параметров отмечалась менее тесная связь (6 из 11) у подопытных особей, в отличие от контрольных (8 из 11). По мере дальнейшего роста корреляция между признаками у молоди возрастала, но при завершении периода подращивания (92 сут) взаимная согласованность у подопытных мальков по-прежнему была несколько ниже, чем у контрольных (рис. 1 а, б). По-видимому, более быстрый рост молоди опытной партии снижает степень скоррелированности [8].

Муксун. По морфометрическим параметрам молодь экспериментальной партии в течение всего периода подращивания преобладала над контрольными особями, а наибольшие расхождения проявились перед выпуском на нагул. При этом, как и у чира в сходных условиях в возрасте 25 сут у молоди муксуна опытной партии установлена менее тесная связь между параметрами, в отличие от контрольных особей. По мере дальнейшего роста и развития скоррелированность параметров у экспериментальных особей возрастала, а у контрольных несколько снижалась, и перед выпуском сеголеток на нагул (83 сут) эти различия достигли максимальных значений (рис. 1 в, г).

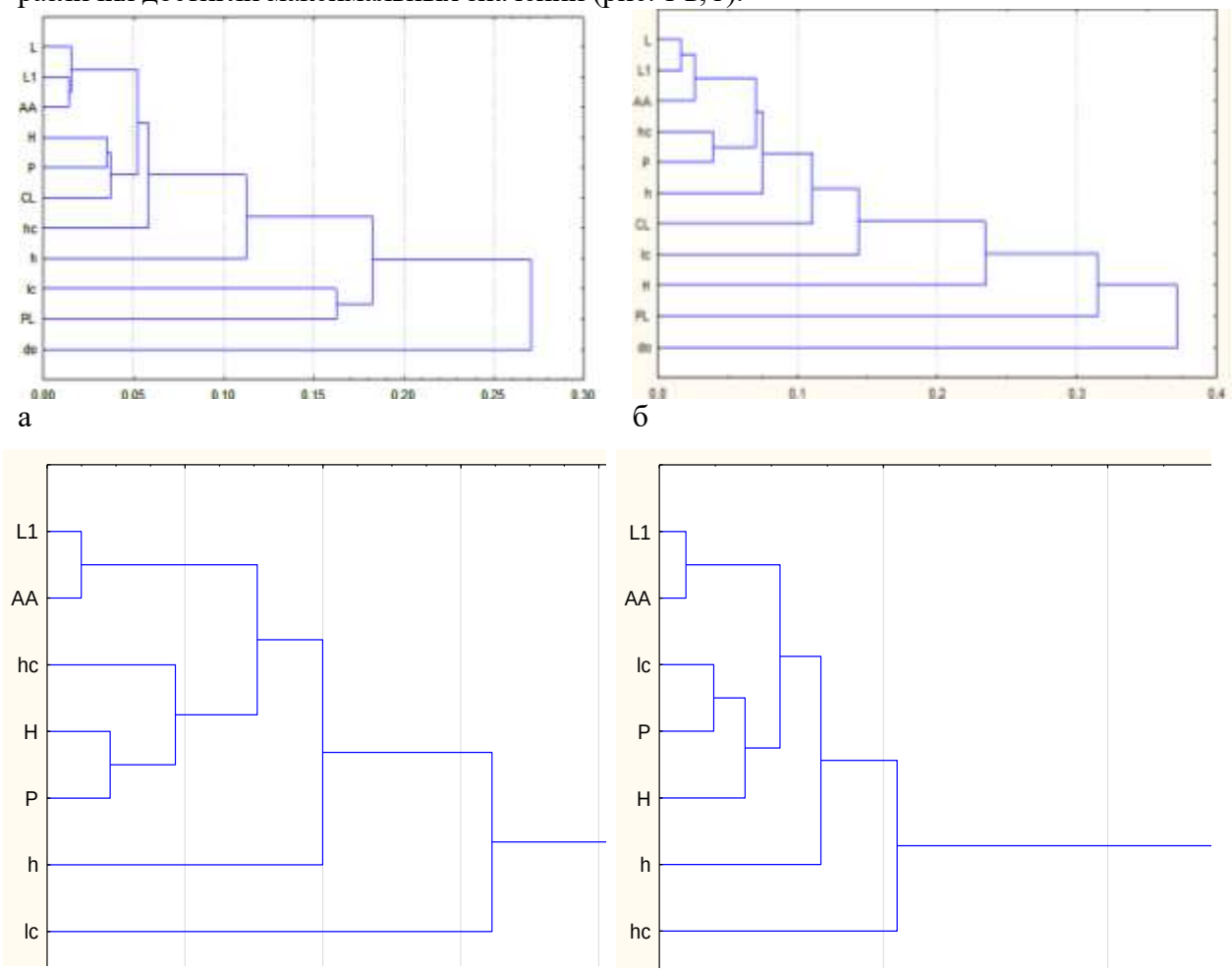


Рис. 1. Дендрограммы связи (1–г) морфологических признаков у молоди чира в возрасте 92 (в, г) суток и муксуна в 83 сут; а, в – контроль, б, г – опыт.

Таким образом, наблюдающееся возрастание степени связи между параметрами у обработанной СИМП молоди чира в течение первых недель постэмбрионального развития проходит в замедленном ритме, позднее синхронизируется, но по мере дальнейшего роста скоррелированность параметров вновь снижается вследствие более быстрого развития отдельных признаков. Наоборот, у экспериментальной молоди муксуна бóльшие значения морфометрических показателей при завершении подращивания обладали и большей скоррелированностью, т.е. у нее происходила смена аллометрического роста изометрическим.

Гистологический анализ

Чир. К возрасту 24 сут у контрольной молоди в развивающихся гонадах были выявлены только первичные гоноциты (рис. 2 а), тогда как у экспериментальных особей уже появлялись гонии I порядка (рис. 2 б), что свидетельствует о более интенсивном развитии репродуктивной системы.

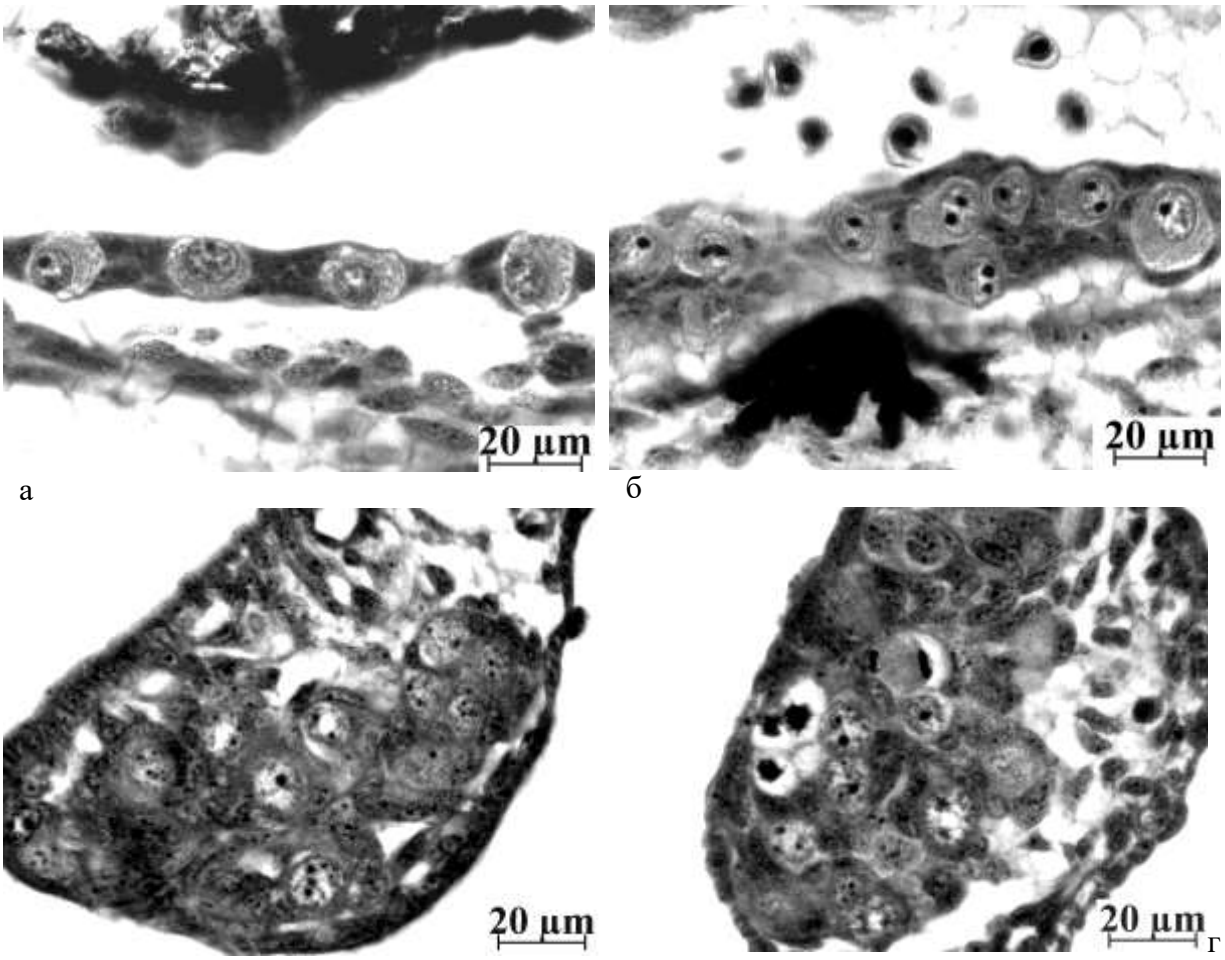
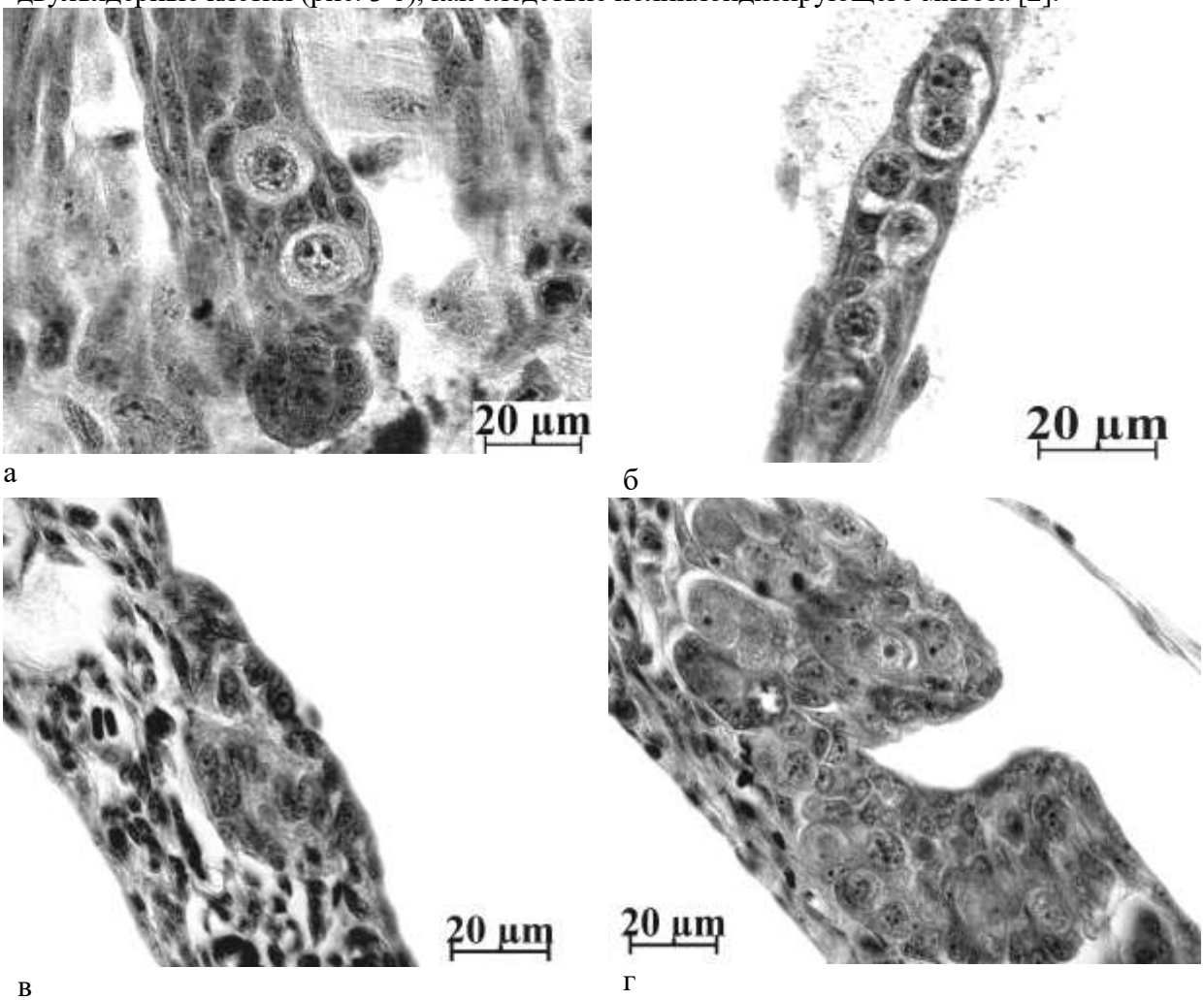


Рис. 2. Развитие репродуктивной системы контрольной (а, в) и экспериментальной (б, г) молоди чира при искусственном подращивании в возрасте 24 (а, б) и 77 (в, г) суток. Пояснения в тексте.

Fig. 2. The development of the reproductive system of the control (a, c) and experimental (b, d) broad whitefish juveniles with artificial rearing at the age of 24 (a, b) and 77 (c, d) days. Explanations in the text.

Выявленные различия по мере дальнейшего развития возрастали. У экспериментальной молоди в более крупных гонадах в большей степени, чем у контрольной, увеличивалось число гониальных клеток. В обеих партиях (50 сут) у будущих самок намечалась анатомическая дифференцировка половой железы по типу яичников, но количество оогониев у подопытных особей было больше. К возрасту 77 сут у молоди опытной партии репродуктивная система была более развитой (рис. 2 в, г): проходила цитологическая дифференцировка яичников – появились ооциты ранней профазы мейоза. Перед выпуском на нагул (92 сут) у молоди обеих партий завершилась дифференцировка гонад, но в яичниках подопытных особей уже формировались яйценосные пластинки, в которых накапливались оогонии и ранние мейоциты.

Муксун. При анализе состоянии гонад у контрольных особей в возрасте 25 сут отмечены немногочисленные ППК (рис. 3 а), тогда как у экспериментальных мальков при большем числе первичных гоноцитов часть из них продолжала пролиферировать: отмечены двухъядерные клетки (рис. 3 б), как следствие полиплоидизирующего митоза [2].



а б в г

Рис. 3. Состояние гонад контрольной (а, в) и подопытной (б, г) молоди муксуна при подращивании в возрасте 25 (а, б) и 83 (в, г) суток. Пояснения в тексте.
Fig. 3. The state of the gonads of the control (a, c) and experimental (b, d) muksun juveniles during rearing at the age of 25 (a, b) and 83 (c, d) days. Explanations in the text.

У подопытных особей в 45-с у т размеры гонад и число гониальных клеток превосходили эти показатели у контрольных. В возрасте 57-59 сут у будущих самок опытной партии, в отличие от контрольных, оогонии локализуются в латеральной области половой железы, что свидетельствует о начале дифференцировки пола.

Значительные различия в состоянии воспроизводительной системы у контрольной и подопытной молоди муксуна проявились в 83 сут, перед выпуском в Обь. У сеголеток контрольной партии развитие гонад было замедленным (рис. 3 в), тогда как у подопытных в более крупных ($p<0,05$) гонадах проходила анатомическая дифференцировка пола в направлении яичников (рис. 3 г), о чем свидетельствует наличие инвагинации; число оогоний у этих особей достоверно ($p<0,05$) выше, чем у контрольных.

Таким образом, проведенная обработка ССИМП зародышей сиговых рыб перед вылуплением ускорила рост и сбалансированность морфологических показателей, развитие их репродуктивной системы, что может являться определенной гарантией дальнейшего успешного существования этих рыб в природных условиях.

Список литературы

1. *Богданов, В.Д.* Динамика структуры нерестового стада чира р. Северной Сосьвы/ В.Д. Богданов, И.П. Мельниченко // Аграрный вестник Урала. – 2012.– № 6.– С. 57-60.
2. *Бродский, В.Я.* Клеточная полиплоидия. Пролиферация и дифференцировка / В.Я.Бродский, И.В.Урываева. — М.: Наука, 1981. — 260 с.
3. *Лукин, А.А.* Проблемы здоровья рыб в водных объектах Северо-Запада России /А.А. Лукин, Ю.Н. Лукина //Тр. ВНИРО. – 2015. – Т.157. – С. 32-44.
4. *Микодина, Е. В.* Гистология для ихтиологов: Опыт и советы/ Е. В. Микодина, М.А. Седова, Д.А. Чмилевский [и др.]. — М.: ВНИРО, 2009. — 112 с.
5. Патент РФ №2155081. Способ обработки вещества магнитным полем и устройство для его осуществления / А.И. Солодилов. – М, 2000.
6. *Ромейс, Б.* Микроскопическая техника /Б. Ромейс. — М.:Издательство иностранной литературы, 1953. — 718 с.
7. *Селюков А.Г.* Морфофункциональный статус рыб Обь-Иртышского бассейна в современных условиях / А.Г.Селюков. – Тюмень: ТюмГУ. – 2007. – 184 с.
8. *Селюков, А.Г.* Проблемы компенсационного рыбоводства: повышение адаптационного потенциала чира *Coregonus nasus (*Pallas) в раннем онтогенезе слабыми магнитными полями. 1. Морфометрический анализ /А.Г. Селюков, Е.В. Ефремова С.А. Селюкова, Л.А. Шуман //Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020 а. – № 11. – С. 32-46.
9. *Селюков, А.Г.* Проблемы компенсационного рыбоводства: повышение адаптационного потенциала чира *Coregonus nasus* (Pallas) в раннем онтогенезе слабыми магнитными полями. 2. Гистологический анализ /А.Г. Селюков, С.А. Селюкова, Л.А. Шуман, Е.В. Ефремова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2020 б. – № 12. – С. 28-40.
10. *Селюкова, С.А.* Повышение биопотенциала молоди муксуна Coregonus muksun сверхслабыми импульсными магнитными полями в условиях рыбоводного хозяйства / С.А. Селюкова, Е.В. Пищенко, Е.В. Ефремова и др. // Рыбное хозяйство. – 2023. – №6.

УДК 556 555.8

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОРЕМЕДИАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ШТАММА *CHLORELLA VULGARIS* GKO

Н. А. Сидорова, А. И. Савушкин, М. А. Унковский
Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия, vanlis@petrsu.ru

Аннотация. В работе представлены результаты эксперимента по изучению эффективности биоремедиационного потенциала штамма *Chlorella vulgaris* GKO. В

лабораторных условиях выполнена оценка изменения исходных концентраций соединений азота и фосфора в пробах воды, отобранных из рыбохозяйственных водоемов. Эффективность удаления биогенов оценена по динамике концентрации Chla, расчетным коэффициентам прироста численности клеток и интенсивности утилизации аммонийного азота и фосфатного фосфора. Эксперименты проводили при комнатной температуре (20 ± 2°C) и искусственном освещении (3500 люкс) в течение 10 суток. Исходные концентрации азота и фосфора в анализируемых пробах воды находились в пределах 0.089 - 0.092 мг/дм^3. Благодаря выполненным исследованиям обнаружено, что в присутствии штамма *Chlorella vulgaris* GKO наблюдается снижение концентрации биогенов в 4.5 раза при увеличении численности клеток микроводорослей в 1.5 раза и концентрации хлорофилла до 0.39 мкг/мл. Обнаружено, что исследуемая культура микроводорослей более эффективно удаляет азот на 2 сутки, а фосфор - на 4 сутки эксперимента. Впервые, для аммонийного азота и фосфатного фосфора рассчитаны коэффициенты интенсивности утилизации (Rn и Rp) исследуемым штаммом хлореллы. Значения коэффициентов находились в диапазоне от 0.1 до 1.8 относительных единиц.
Ключевые слова: альголизация; биоремедиация; биогены; микроводоросли; хлорофилл «а»; *Chlorella vulgaris* GKO

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE BIOREMEDIATION POTENTIAL OF THE *CHLORELLA VULGARIS* GKO STRAIN

N. A. Sidorova, A. I. Savushkin, M. A. Unkovsky
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia,
vanlis@petrsu.ru

Summary. The paper presents the results of an experiment to study the effectiveness of the bioremediation potential of the Chlorella vulgaris GKO strain. Changes in the initial concentrations of nitrogen and phosphorus compounds in water samples taken from fishery reservoirs were evaluated in laboratory conditions. The efficiency of the removal of biogens was estimated by the dynamics of the Chla concentration, the calculated coefficients of cell growth and the intensity of utilization of ammonium nitrogen and phosphate phosphorus. The experiments were carried out at room temperature (20 ± 2 °C) and artificial lighting (3500 lux) for 10 days. The initial concentrations of nitrogen and phosphorus in the analyzed water samples were in the range of 0.089 - 0.092 mg/dm^3. Thanks to the performed studies, it was found that in the presence of the Chlorella vulgaris GKO strain, the concentration of biogens decreased by 4.5 times with an increase in the number of microalgae cells by 1.5 times and the concentration of chlorophyll to 0.39 micrograms/ml. It was found that the studied culture of microalgae more effectively removes nitrogen on the 2nd day, and phosphorus - on the 4th day of the experiment. For the first time, the utilization intensity coefficients (Rn and Rp) of the studied chlorella strain were calculated for ammonium nitrogen and phosphate phosphorus. The values of the coefficients ranged from 0.1 to 1.8 relative units.
Keywords: algolization; bioremedition; biogens; microalgae; chlorophyll «a»; *Chlorella vulgaris* GKO

На сегодняшний день акватории, предназначенные для индустриального разведения ценных объектов аквакультуры, имеют определенный перечень рыбохозяйственных характеристик, разработанных на основе комплексного обследования не только гидролого-гидрохимических показателей, но и подробного изучения состояния биологических ресурсов водоема [7; 8]. Во многом, это связано с накоплением в рыбохозяйственных водоемах органических форм азота, фосфора, взвешенных веществ из-за поступления органических отходов в виде остатков корма

или погибшей рыбы в зоне садковых модулей. Как следствие, на окисление органического вещества расходуется кислород, накапливаются токсичные соединения, способствуя эвтрофикации и снижению биоразнообразия гидробионтов [3].

С целью сохранения экологической целостности водоемов, используемых для индустрии аквакультуры, разработана и активно применяется технология биоремедиации водоемов с использованием микроводорослей или альголизация. Использование концентратов *Chlorella, Scenedesmus, Neochloris, Spindina* подтвердило возможность эффективного контроля за качеством воды. Доказано, что в пределах одного рода отдела *Chlorophyta* существует гетерогенность по толерантности к высоким концентрациям азота, фосфора и многокомпонентным органическим отходам, которые накапливаются в водоемах. Научно обосновано, что *Chlorophyta* обладают максимальной, среди изученных видов микроводорослей, толерантностью к условиям культивирования на эвтрофных сточных водах [9].

Цель выполненного исследования заключалась в оценке эффективности биоремедиационного потенциала штамма *Chlorella vulgaris* GKO в составе коммерческого биопрепарата, разработанного и производимого Компанией «Альготек».

Материал и методика

В качестве объекта исследования выбрана одноклеточная зеленая водоросль *Chlorella vulgaris*, которая относится к Отделу Chlorophyta, Классу Euchlorophyceae, Порядку Chlorococcales, Семейству *Chlorellaceae*, Подсемейству *Chlorelloideae*, Роду *Chlorella* Beijer, Виду *Chlorella vulgaris* Beijer. Согласно данным Патента RU (11) 2 644 653(13) C1 (авторы: Грабарник В. Е., Карелин Н. В., Богданов Н. И), штамм *Ch. vulgaris* GKO, используемый для альголизации водоемов, обладает тонкой оболочкой, активно продуцирует биомассу в синхронном режиме культивирования. В течение суток штамм *Ch. vulgaris* GKO проходит два жизненных цикла и достигает нормативной оптической плотности суспензии в пределах 1.8-2.0 OD.

Для получения концентрата исследуемый штамм культивировали на модифицированной среде Тамия (Tamia) следующего состава (г/л): KNO_3 – 5.0, $KH_2PO_4 \times 3H_2O$ – 1.25, $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 2.5, $MnCl_2 \times 4H_2O$ – 1.81, $ZnSO_4 \times 7H_2O$ – 0.222, MoO_3 – 0.018, H_3BO_3 – 2.86, NH_4VO_3 – 0.023 [1; 2]. Дизайн эксперимента включал предварительную подготовку серий разбавлений воды рыбохозяйственного водоема в 10^{-1}, 10^{-2} и 10^{-3} раз. Разбавления выполняли на стерильной среде Тамия. В качестве контроля использовали неразбавленную воду, отобранную из рыбохозяйственного водоема. Опытные растворы и воду разливали в объеме 800 мл в колбы на 1000 мл. В колбы с опытными растворами вносили 0.1 мл суспензии микроводорослей с исходной численностью клеток от 250 до 280 тыс. кл/см^3, которую контролировали прямым подсчетом клеток в камере Горяева. Колбы с опытными растворами и водой закрывали ватными пробками и помещали на 10 суток в климатостат марки «В2» с заданными условиями по температуре 22 °С и интенсивности света 3500 люкс.

По результатам культивирования, ежедневно из колб с опытными растворами и контролем отбирали пробы по 10 мл и определяли содержание Chla, рассчитывали коэффициент прироста численности клеток (К) и коэффициент интенсивности утилизации аммонийного азота (Rn) и фосфатного фосфора (Rp). Содержание Chla оценивали спетрофотометрически с использованием формулы:

$$Chl\ a = 11.9\ (OD\ (665) - OD\ (750)),$$ где

Chl a – концентрация хлорофилла «а», мкг/мл;

11.9 – пересчетный коэффициент;

OD (665), OD (750) - оптическая плотность.

Коэффициент прироста численности клеток микроводорослей в контрольной и опытной сериях (К, отн. ед) рассчитывали по формуле, согласно РД 52.24.808-2014:

$$K = N_t/N_0, \text{ где}$$

N_t – численность клеток микроводорослей в опыте и контроле через учитываемый промежуток времени, тыс. кл/см^3;

N_0 – исходная численность клеток микроводорослей, тыс. кл/см^3. Параллельно, в опытных растворах и в контроле оценивали изменение концентрации азота и фосфора. Для этого 10 мл исследуемой пробы центрифугировали при 5000-6000 об/мин для отделения микроводорослей. Содержание аммонийного азота и фосфатного фосфора (ортофосфатов) в анализируемых пробах оценивали фотометрическим методом в соответствии с РД 52.24.383-2018 и РД 52.24.382-2019. Коэффициент интенсивности утилизации азота (Rn, отн. ед.) и фосфора (Rp, отн. ед.) рассчитывали по формуле [9]:

$$Rn(p) = S_0 - S_t / t_1 - t_2, \text{ где}$$

R – коэффициент интенсивности утилизации азота,

S_0 – начальные концентрации аммонийного азота и фосфатного фосфора,

S_t – соответствующая концентрация субстрата в начале (t_1) и в конце (t_2) выбранных интервалов времени.

Все эксперименты выполняли в 3-кратной повторности. Для статистической оценки данных, полученных в опыте и контроле, рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение, ошибку среднего значения, t-критерий Стьюдента. При сравнении результатов в опыте и контроле применяли непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Работы с электронными таблицами выполняли с использованием офисного пакета приложений «Microsoft Office Excel».

Результаты и обсуждение

Благодаря выполненным исследованиям установлено, что прирост численности клеток штамма *Ch. vulgaris* GKO в опытных сериях эксперимента был максимальным на 7 сутки при 10^{-1} и 10^{-2} разведениях воды рыбохозяйственного водоема. Характерно, что полученные показатели физиологической активности хлореллы были значительно ($p > 0.05$) выше (460 тыс.кл/см^3) по сравнению с разведением 10^{-3} (211 тыс.кл/см^3) и с контролем (98 тыс.кл/см^3) (табл. 1).

Таблица 1. Прирост численности клеток штамма *Ch. vulgaris* GKO в опытной и контрольной сериях эксперимента

Сутки эксперимента	Разведения опытных растворов			Контроль
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	
2	1.1	0.9	0.9	0.4
3	1.3	0.9	0.9	0.6
4	1.4	1.1	0.8	0.9
5	1.5	1.2	0.8	0.9
6	1.5	1.2	0.8	0.8
7	1.7	1.4	0.7	0.9
8	1.5	1.3	0.7	0.7
9	1.5	1.3	0.7	0.8
10	1.5	1.2	0.8	0.7
ср	1.4	1.2	0.8	0.7
max	1.7	1.4	0.9	0.9
min	1.1	0.9	0.7	0.4

Содержание хлорофилла «а» является одной из основных функциональных характеристик природного фитопланктона и его количество в клетках микроводорослей является очень чувствительным и быстро меняющимся физиологическим показателем.

Наибольшее содержание хлорофилла «а» (0,39 мкг/мл) обнаружено в клетках исследуемого штамма хлореллы на 4 сутки эксперимента при наименьшем разбавлении анализируемых проб воды (10^{-1}) (рис. 1). С увеличением продолжительности эксперимента и истощением питательного субстрата, во всех опытных вариантах эксперимента наблюдалось закономерное снижение количества хлорофилла «а» в клетках микроводорослей. Так, к 10 суткам количество хлорофилла «а» в первой серии эксперимента (разведение 10^{-1}) сократилось в 1.2 раза, во второй серии (разведение 10^{-2}) – в 2 раза, в третьей серии (разведение 10^{-3}) – в 2,6 раз. В контроле (анализируемая вода рыбохозяйственного водоема без штамма *Ch. vulgaris* GKO) на 7 сутки эксперимента наблюдалось увеличение содержания хлорофилла «а» в клетках аборигенных культур микроводорослей – с 0,07 до 0,16 мкг/мл, что может быть связано с созданием оптимальных условий для их культивирования в климатостате.

В анализируемых пробах воды изначальная концентрация аммонийного азота составила 0,092 мг/дм^3, что соответствует ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения и не превышает 0,4 мг/дм^3, согласно РД 52.24.383-2018. В присутствии штамма *Ch. vulgaris* GKO, во всех опытных сериях эксперимента, к 10 суткам концентрация аммонийного азота снизилась до 0,01-0,02 мг/дм^3.

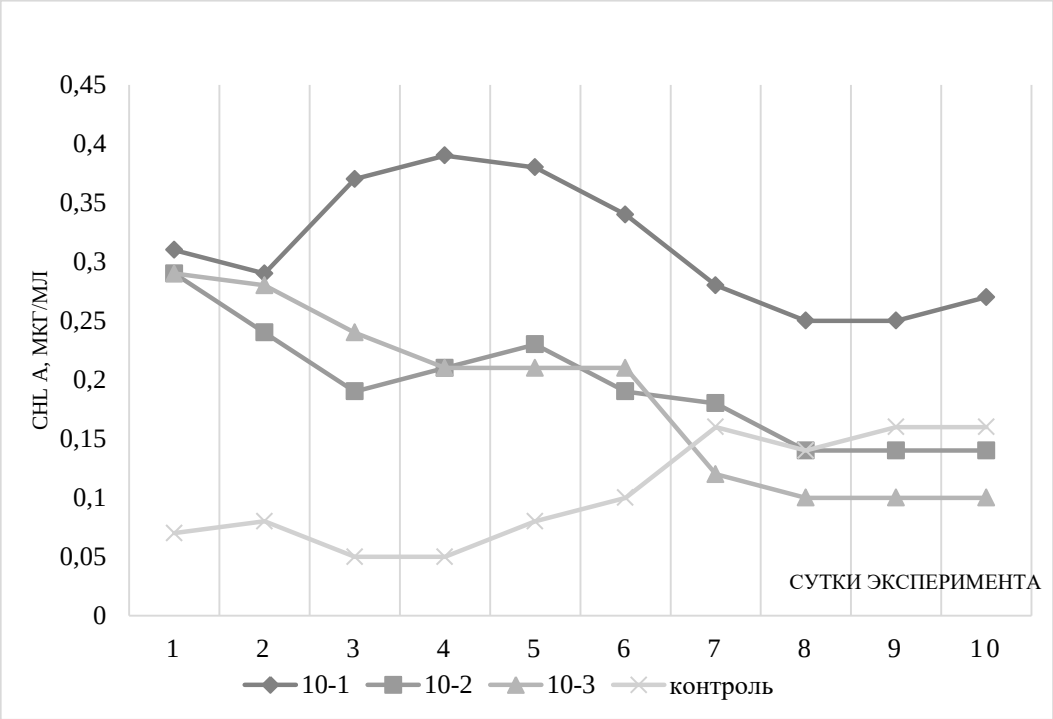


Рис.1. Изменение содержания Chla в клетках микроводорослей опытной и контрольной серий эксперимента

В контроле, концентрация азота оставалась довольно стабильной и изменялась в небольшом диапазоне от 0.092 мг/дм^3 (1 сутки эксперимента) до 0,074 мг/дм^3 (10 сутки эксперимента) (рис. 2). Благодаря выполненному расчету коэффициента интенсивности утилизации азота обнаружено, что наиболее эффективно, исследуемый штамм хлорелллы стал поглощать азот уже на 2 сутки эксперимента, о чем свидетельствует значение Rn=1,5 отн.ед. Значение коэффициента утилизации азота было высоким (Rn= 1,1-1,3 отн.ед.) до 7 суток, а далее стало постепенно снижаться и к завершению эксперимента значение Rn составило 0,6 отн.ед. В контроле коэффициент интенсивности утилизации азота изменялся от 0,1 до 0,4 отн.ед.

Изначальная концентрация фосфатного фосфора в анализируемых пробах воды составила 0,089 мг/дм^3, что соответствует ПДК для олиготрофных водных объектов (0,05 мг/дм^3) с трансформацией в мезотрофные (0,15 мг/дм^3), согласно РД 52.24.382-

2019. В присутствии штамма *Ch. vulgaris* GKO, во всех опытных сериях, к 10 суткам эксперимента концентрация фосфатного фосфора снизилась до 0,01 мг/дм^3, а при разведении анализируемой воды в три раза, к 7 суткам эксперимента были зафиксированы нулевые значения фосфора. В контроле, концентрация фосфатного фосфора снизилась с 0,091 мг/дм^3 (1 сутки эксперимента) до 0,068 мг/дм^3 (10 сутки эксперимента) (рис. 3).

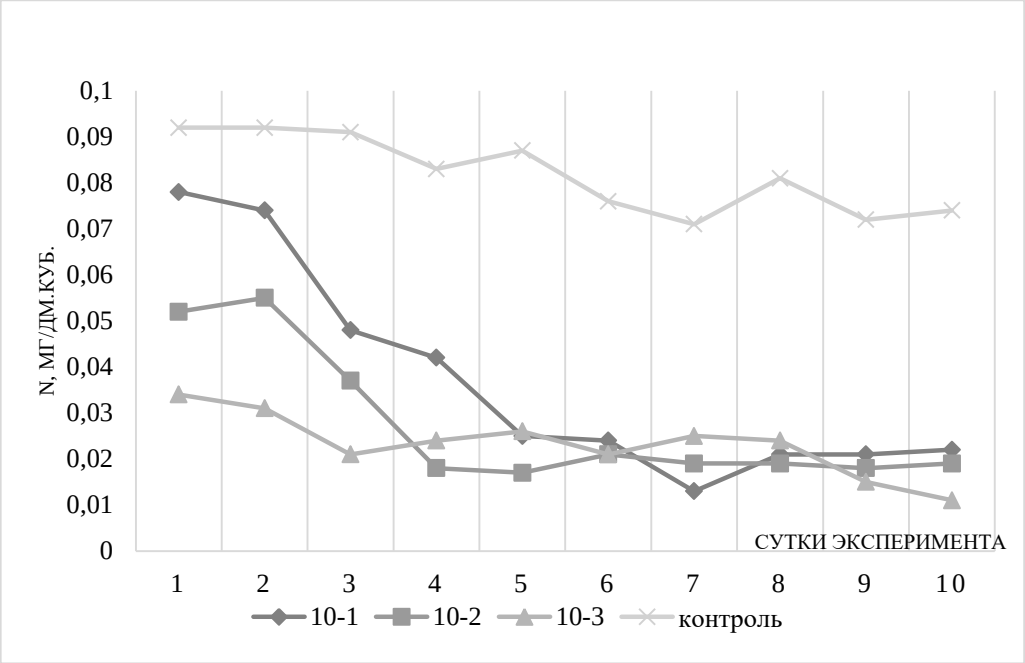


Рис. 2. Изменение концентрации аммонийного азота в воде опытной и контрольной сериях эксперимента

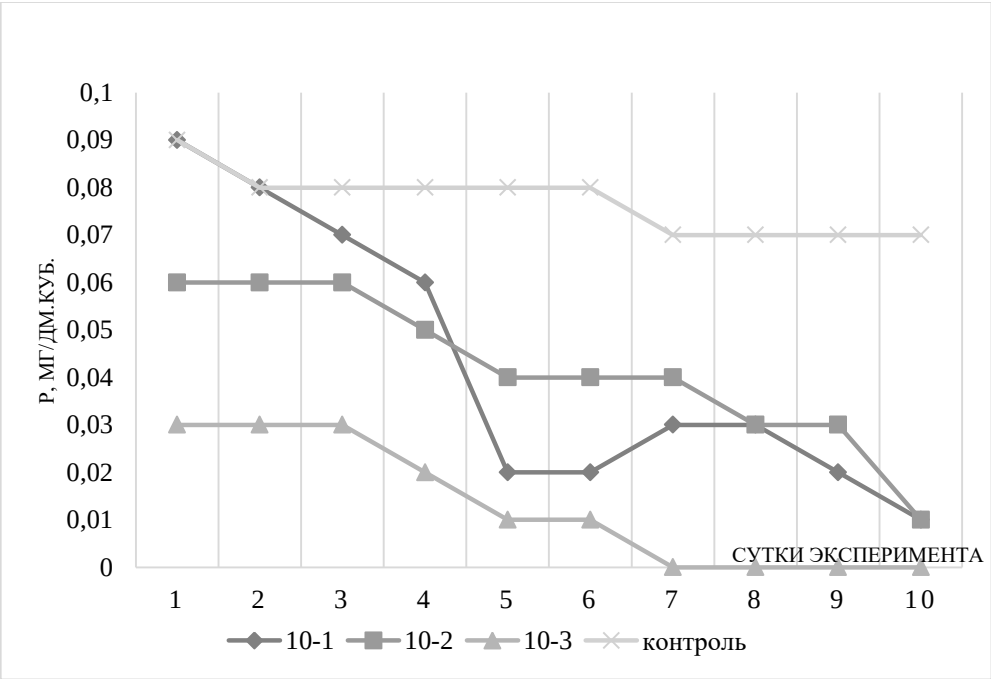


Рис. 3. Изменение концентрации фосфатного фосфора в воде опытной и контрольной сериях эксперимента

Результат расчета коэффициента интенсивности утилизации фосфора показал, что исследуемый штамм хлорелллы стал эффективно поглощать фосфор из среды только на 4 сутки эксперимента и в этот период значение Rp составило 1,8 отн.ед.

(разведение воды 10^{-1}). В последующие 6 суток эффективность утилизации фосфатного фосфора необратимо снижалась и к завершению эксперимента значение Rp не превышало 0.9 отн.ед. Характерно, что увеличение значений Rp в других опытных сериях эксперимента и в контроле, в первые сутки имело нулевые значения. Увеличение значений Rp обнаружено только к 3 суткам: Rp=0,5 отн.ед (разведения 10^{-2} и 10^{-3}) и Rp=0.1 отн.ед (контроль). К 10 суткам эксперимента, достоверных увеличений коэффициента интенсивности утилизации фосфатного фосфора в случаях разбавления анализируемой воды (10^{-2} и 10^{-3}) и в контроле, выявлено не было.

В результате выполненной работы можно констатировать преимущества биологической очистки рыбохозяйственных водоемов от избытка биогенов с применением микроводорослей. Технология альголизации пока еще не получила должного распространения среди предприятий индустриальной аквакультуры. Одна из причин может быть связана с недостаточной информацией об изменении биологических особенностей представителей фитопланктона в ответ на сложный комплекс факторов среды абиогенного и биогенного генеза, а также о применении наиболее подходящих для этого штаммов микроводорослей. Благодаря выполненному исследованию обнаружено, что водная среда, обогащенная биогенами может способствовать росту клеток и метаболической активности штамма *Ch. vulgaris* GKO, что является экономически эффективным и экологически чистым подходом к минимизации накопления отходов аквакультуры в поверхностных водоемах.

Список литературы

1. *Владимирова, М.Г.* IPPAS - коллекция культур микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР. Каталог культур коллекций СССР / М.Г. Владимирова, Е.Д. Барцевич, И.А. Жолдаков, О.О. Епифанова, А.Г. Маркелова и др. – М.: ИФР, 1991. – С. 8 – 61.
2. *Кузнецов, Е. Д.* Железо как фактор, лимитирующий рост хлореллы на среде Тамия /Е. Д. Кузнецов, М. Г. Владимирова// Физиология растений. –1964. – Т.11 (4). – С. 615 – 619.
3. *Орехова, Н. А*. Органическое вещество и окислительно-восстановительные условия в донных отложениях Балаклавской бухты /Н. А. Орехова, Е. И.Овсяный, Е. А. Тихонова // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия. – 2019. – Т. 5 (71). – № 3. – С. 49-64.
4. РД 52.24.383-2018. Массовая концентрация аммонийного азота в водах: Методика измерений фотометрическим методом в виде индофенолового синего. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». –2018. – 47 с.
5. РД 52.24.382-2019. Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах: Методика измерений фотометрическим методом. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». –2019. – 31 с.
6. РД 52.24.808-2014. Оценка токсичности поверхностных вод суши методом биотестирования с использованием хлорофилла а. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ». –2014. – 27 с.
7. *Стерлигова, О. П*. Состояние заливов Онежского озера при товарном выращивании радужной форели / О.П. Стерлигова, С. П. Китаев, Н. В. Илъмаст и др. // Поволжский экологический журнал. – 2011. – № 3. – С. 386–393.
8. *Стерлигова, О.*П. Состояние пресноводной экосистемы при товарном выращивании радужной форели в озере Верхнее Пулонгское (Северная Карелия) / О.П. Стерлигова, Н.В. Илъмаст, Я.А. Кучко и др. // Вопр. рыболовства. – 2015. – Т. 16. – № 1. – С. 126–132.
9. *Aslan, S.* Batch Kinetics of Nitrogen and Phosphorus Removal from Synthetic Wastewater by Algae / S. Aslan, I. K. Kapdan // Ecol. Eng. – 2006. – Vol. 28. – P.64–70. DOI:10.1016/j.ecoleng.2006.04.003.

УДК 574.5

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ МИКРОПЛАСТИКОМ

Л.Б. Бухаева, С.А. Бирицкая, М.А. Масленикова, Я.К. Ермолаева, А.В. Лавникова, И.В. Миловидова, Н.А. Кульбачная, Д.И. Голубец, О.В. Садыкова, К.В Саловаров, А.С Миловидова, В.В. Куликова, К.Г. Рэчилэ, К.К. Рубан, А.Т. Гулигуев, А.В. Глазачева, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия,
E-mail: buhaeva2017@gmail.com

Аннотация. На сегодняшний день данных о влиянии микропластика на озеро Байкал крайне мало. Микропластиком называют частицы пластика размером менее 5 мм [6]. Большинство исследований, посвященных микропластику, направлены на изучение в морской среде, в то время как микропластику в пресноводных водоемах уделялось меньше внимания [1; 2; 10; 11]. Озеро Байкал является одним из самых глубоких и старейших озер на планете. Оно обладает уникальной экологической системой с особыми физико-химическими свойствами и большим количеством видов животных и растений, большая часть из которых является эндемиками озера. В рамках этого исследования нашей целью была оценка уровня загрязнения микропластиком поверхностных вод напротив ряда населенных пунктов озера Байкал. Для этого нами был произведен пробоотбор в 2021 и 2022 году в различных населенных пунктах южного Байкала. Полученные образцы были проанализированы на наличие различных типов микропластика и его количества. В отобранных образцах были обнаружены три типа микропластика — фрагменты, волокна и пленки, причем волокна были преобладающим типом микропластика. Средние значения частиц микропластика выше в образцах, взятых у берега по сравнению с образцами, взятых на глубине. Предположительно, это может быть связано с ветровой и волновой активностью озера Байкал.

Ключевые слова: микропластик, озеро Байкал, пробы воды.

POLLUTION OF LAKE BAIKAL BY MICROPLASTICS

L.B. Bukhaeva, S.A. Biritskaya, M.A. Maslenikova, Ya.K. Ermolaeva, A.V. Lavnikova, I.V. Milovidova, N.A. Kulbachnaya, D.I. Golubets, O.V. Sadykova, K.V. Salovarov, A.S. Milovidova, V.V. Kulikova, K.G. Rachile, K.K. Ruban, A.T. Guliguev, A.V. Glazacheva, D.Y. Karnaukhov, E.A. Silov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia,
E-mail: buhaeva2017@gmail.com

Abstract. To date, there is very little data on the impact of microplastics on Lake Baikal. Microplastic is called plastic particles with a size of less than 5 mm [6]. Most of the studies on microplastics are aimed at studying in the marine environment, while microplastics in freshwater bodies have received less attention [1; 2; 10; 11]. Lake Baikal is one of the deepest and oldest lakes on the planet. It has a unique ecological system with special physicochemical properties and a large number of rare species of animals and plants, most of which are endemic to the lake. As part of this study, our goal was to assess the level of microplastic contamination of surface waters opposite a number of localities of Lake Baikal.

To do this, we conducted sampling in 2021 and 2022 in various localities of southern Baikal. The samples obtained were analyzed for the presence of types of microplastics and their quantity. Three types of microplastics were found in the samples taken — fragments, fibers and films, with fibers being the predominant type of microplastics. The average values of microplastic particles are higher in samples taken near the shore compared to samples taken at depth. Presumably, this may be due to the wind and wave activity of Lake Baikal.

Keywords: microplastic, lake Baikal, water samples

Микропластиком называют частицы пластика размером менее 5 мм. Впервые с проблемой загрязнения столкнулись около 50 лет назад, когда впервые обнаружили частицы пластика при отборе проб фитопланктона [4, 5, 6]. Проблема загрязнения микропластиком морских и пресноводных водоемов становится с каждым годом все более актуальной. Каждый год появляется все больше информации о проблеме из разных уголков мира [2; 7; 13]. Быстрое увеличение производства пластика и его неправильная утилизация привела к массовому загрязнению множества сред обитания живых организмов. Пластик благодаря своим удивительным свойствам, стал одним из самых универсальных материалов из когда-либо производимых. Он проник во все сферы жизни, однако, несмотря на все преимущества, его использование имеет далеко идущие последствия для окружающей среды [3]. Поэтому данная проблема вызывает все больший интерес среди ученных по всему миру.

Основными источниками микропластика в Байкале могут являться хозяйственно-бытовые сточные воды, а также различные виды пластиковых изделий: пленка, одноразовая посуда и упаковка, синтетическая одежда и т.д. В зависимости от пути образования микропластик делится на первичный и вторичный, первичный микропластик производится и попадает в окружающую среду непосредственно в виде мелких частиц. Вторичный микропластик образуется в результате разрушения крупных пластиковых предметов, таких как пластиковые бутылки и мусорные пакеты, под воздействием солнечных лучей, волн, течений, и других абиотических факторов [8]. На сегодняшний день данных о распространении микропластика в озере Байкал крайне мало. Недостаточно данных не только о наличии и количественных показателях пластиковых частиц в озере Байкал, но и о его токсическом воздействии на различные группы организмов. Гидробионты могут воспринимать частицы микропластика за объект пищи и способны к его поглощению, что может может приводить к нарушению важных физиологических процессов таких как питание, рост и развитие.

В последние годы было проведено несколько исследований с помощью различных методов анализа и в разных районах озера [9; 12].

По данным этих исследований в пределах оз. Байкал самая высокая концентрация микропластика наблюдалась в Малом Море (707 частиц м^3), которая значительно выше, чем на всех других станциях. В оз. Байкал все частицы микропластика представляли собой либо фрагменты либо волокна, причем фрагментов было в 6,9 раза больше, чем волокон. Размер микропластика колебался в пределах 15-2946 мкм. Никаких пластиковых гранул, пленок не было обнаружено. Среди микропластика, собранного в оз. Байкал, было обнаружено одиннадцать различных пластиковых полимеров, причем наиболее распространенными были полипропилен и полиэтилентерефталат, составляющие 65% и 16% от всего найденного пластика [12].

Озеро Байкал является уникальной экосистемой, его загрязнение приведет к необратимым негативным последствиям для всего мира. Поэтому для более точного понимания всей серьезности проблемы, нами было проведено данное исследование.

Цель исследования заключается в оценке уровня загрязнения микропластиком поверхностных вод напротив семи населенных пунктов в Южном Байкале.

Материалы и методы

Исследование проводилось летом 2021 и 2022 года. Для исследования загрязнения вод озера Байкал микропластиком мы использовали нейстонную сеть с площадью входного отверстия 0,1 м².

Отбор проб в 2021 году проводился в 7 населенных пунктах: с. Посольское, п. Култук, п. Танхой, г. Слюдянка, г. Байкальск, п. Большие Коты и напротив м. Скрипер (находится рядом с п. Большие Коты). Пробы отбирались как у береговой линии, так и над глубиной на расстоянии около 50 метров от берега. Всего была отобрана 51 проба: 20 в районе п. Б. Коты, 6 в п. Култук, 6 в г. Слюдянка, 4 в г. Байкальск, 10 в п. Танхой и 5 в с. Посольское. В населенных пунктах с. Посольское и п. Байкальск пробы над глубиной не удалось отобрать из-за погодных условий. В пробах за 2021 год был обнаружен микропластик таких типов как волокна, фрагменты и пленки.

Пробы воды за 2022 год были отобраны с поверхности напротив п. Большие Коты, п. Култук, г. Слюдянка, п. Танхой и с. Посольское. Все пробы были отобраны у береговой линии, за исключением 3 проб в п. Большие Коты, где пробы были отобраны над глубиной в 3 м. Всего было отобрано 19 проб: 7 в п. Большие Коты (4 у береговой линии, 3 над глубиной), 3 у п. Култук, 3 у г. Слюдянка, 3 у п. Танхой и 3 у с. Посольское.

Данные о количестве микропластика в пробах получены путем ручного подсчета количества частиц микропластика в пробах. Все пробы обрабатывались под стереомикроскопом МБС-10 при 98х увеличении.

Результаты и обсуждения

Полученные данные показали, что за 2021 и 2022 год во всех пробах обнаружен микропластик. В обоих исследованиях преобладающим типом являются волокна, что может быть связано с отсутствием современной системы очистных сооружений в городах и поселках рядом с озером. Фрагменты микропластика наблюдались гораздо реже, а в каких-то пробах полностью отсутствовали, например в п. Култук. В 2021 году максимальное количество микропластика у берега обнаружено в г. Байкальск, минимальное напротив м. Скрипер (табл. 1).

Таблица 1. Среднее значение частиц микропластика в пробах у берега за 2021 г. экз./м^3

Тип микропластика	Населенный пункт						
	Посольское	Танхой	Култук	Слюдянка	Байкальск	Б.Коты	Скрипер
Волокна	78	141	211,1	310	380	78,5	56,3
Фрагменты	26	7	23,2	6,7	55,6	1,9	5
Пленки	1	0	2,8	0,4	0	0	0

В пробах, взятых над глубиной количество микропластика в п. Танхой было максимальным (табл. 2). Меньше всего частиц было обнаружено в п. Култук. Пленки были обнаружены в небольшом количестве и не во всех пробах.

Таблица 2. Среднее значение частиц микропластика в пробах над глубиной в 2021 г. экз./м^3

Тип микропластика	Населенный пункт						
	Посольское	Танхой	Култук	Слюдянка	Байкальск	Б.Коты	Скрипер
Волокна	-	26,6	5,6	17,6	-	5,7	6,6
Фрагменты	-	5,36	0,8	0,33	-	0,16	0,33
Пленки	-	0	0,1	0	-	0	0,13

В 2022 году максимальное количество частиц микропластика обнаружено в п. Танхой, минимальное в г. Слюдянка (табл. 3).

Таблица 3. Среднее значение частиц микропластика за 2022 г. экз./м^3

Тип микропластика	Населенный пункт					
	Култук	Слюдянка	Танхой	Посольское	Б.Коты	
					Глубина	Берег
Волокна	191,7	53,3	286,7	103,3	1,075	162,5
Фрагменты	0	6,7	6,7	5	0	7,5

Данные за два года исследования показали, что количество микропластика гораздо выше у берега, чем над глубиной. Такая закономерность может быть связана с ветровой и волновой активностью оз. Байкал.

Заключение

Частицы микропластика были обнаружены во всех пробах. Преобладающим типом микропластика в озере Байкал являются волокна. Фрагменты и пленки микропластика были обнаружены в небольшом количестве. Ежегодно возрастающая антропогенная нагрузка на территории озера Байкал говорит об актуальности полученных данных по загрязнению байкальской воды. Чтобы лучше понять, как бороться с пластиковым загрязнением, необходимо проводить ежегодный мониторинг поверхностных вод озера Байкал.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке проекта Минобрнауки РФ.

Список литературы

1. *Якименко, А. Л.* К вопросу об изученности микропластика в морской среде / А. Л. Якименко, Я. Ю. Блиновская // Теоретические и прикладные аспекты современной науки. – 2015. – № 7-2. – С. 139-141.
2. *Andrady, A.L.* Microplastic in the marine environment / A. L. Andrady // Marine Pollution Bulletin – 2011 – V. 62 – P. 1596-1605.
3. *Akdogan, Z.* Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. / Z. Akdogan, B. Guven. // Environ. Pollut., – 2019.
4. *Carpenter E. J.* Polystyrene spherules in coastal waters / E. J. Carpenter, S. J. Anderson, G. R. Harvey, H. P. Miklas, B. B. Peck// Science. – 1972. – Vol. 17. – P. 749–750.
5. Carpenter E. J. Plastics on the Sargasso Sea surface / E. J. Carpenter, K. L. Smith. // Science. – 1972. – Vol. 175. – P. 1240–1241.
6. *Courtene-Jones, W.* Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean / W. Courtene-Jones, B. Quinn, S.F. Gary, A. Mogg, B.E. Narayanaswamy // Environ. Pollut., – 2017 P. 271-280.
7. *Cole, M.* Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. / M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, T. S. Galloway // Marine Pollution Bulletin. – 2011. – №62. – P. 2588-2597
8. *Geilfus, N. X.* Distribution and impacts of microplastic incorporation within sea ice / N. X. Geilfus, K. M. Munson, J. Sousa, Y. Germanov, S. Bhugaloo, D. Babb, F. Wang. // Mar. Pollut. Bull. – 2019. P. 463-473.
9. *Karnaukhov D.* Distribution Features of Microplastic Particles in the Bolshiye Koty Bay (Lake Baikal, Russia) in Winter / D. Karnaukhov, S. Biritskaya, E. Dolinskaya, M. Teplykh, Y. Ermolaeva, V. Pushnica, L. Bukhaeva, I. Kuznetsova, A. Okholina E. Silow // Pollution. – 2022. – Vol. 8, No. 2. – P. 435-446.

10. *Khalid, N.* Linking effects of microplastics to ecological impacts in marine environments / N. Khalid, M. Aqeel, A. Noman, M. Hashem, Y. S. Mostafa, H. A.S. Alhaithloul, S. M. Alghanem // Chemosphere. – 2020. – V. 264
11. *Lusher A.* Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects / A. Lusher // Marine Anthropogenic Litter 2015 - P. 245-307.
12. *Moore, M. V.* Lake-wide assessment of microplastics in the surface waters of Lake Baikal, Siberia / M. V. Moore, M. Yamamuro, O. A. Timoshkin, A.A. Shirokaya, Y. Kameda. // Limnology. – 2021.
13. *Vandermeersch, G.* A critical view on microplastic quantification in aquatic organisms. / G. Vandermeersch, L. Van Cauwenberghe, C. R. Janssen, A. Marques, K. Granby, G. Fait, M. Kotterman, J. Diogène, K. Bekaert, J. Robbens, L. Devriese // Environmental Research. – 2015. – №143 – P. 46-55.

УДК 574.64 + 574.632

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ К СТАНДАРТНОМУ ТОКСИКАНТУ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ РЕКИ МОСКВА С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е. В. Оганесова[1,2], Т. А. Самойлова[1], Е. С. Дмитриева[1], Л. А. Духова[1]
[1] *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия*
[2] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Аннотация. Рассмотрены тенденции изменения чувствительности лабораторных тест-организмов к модельному токсиканту в природной воде реки Москвы по данным, полученным в 2022 г. Гидрохимические и токсикологические лабораторные исследования подтвердили тенденции, выявленные в ходе исследований р. Москвы в 2021 г. Суммарное влияние антропогенных факторов на процесс трансформации химического состава вод р. Москвы в настоящее время стабилизировалось. В условиях комплексного антропогенного загрязнения, включающего повышение минерализации и жесткости воды, чувствительность некоторых тест-объектов была снижена, несмотря на совместное действие нескольких загрязнителей. Этот факт рекомендуется учитывать при разработке нормативов качества воды ($ПДК_{рх}$) в условиях, отличающихся от стандартных (региональных $ПДК_{рх}$), чтобы избежать получения завышенных величин $ПДК_{рх}$. Результаты исследований могут быть использованы при формировании методических подходов к региональному нормированию.

Ключевые слова: *Scenedesmus quadricauda*; *Daphnia magna*; биотестирование; токсичность; $ПДК_{рх}$; чувствительность тест-организмов; антропогенное воздействие; река Москва.

SENSITIVITY OF LABORATORY TEST ORGANISMS TO A STANDARD TOXICANT IN THE NATURAL WATER OF THE MOSCOW RIVER WITH VARYING DEGREES OF ANTHROPOGENIC STRESS

E. V. Oganesova [1,2], T. A. Samoylova[1], E. S. Dmitrieva[1], L. A. Dukhova[1]
[1] All-Russian Scientific Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia
[2] Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Summary. The trends of changes in the sensitivity of laboratory test organisms to a model toxicant in the natural water of the Moscow river are considered according to data obtained in 2022. Hydrochemical and toxicological laboratory studies confirmed the trends identified during studies of the Moscow river in 2021. The total influence of anthropogenic factors on the process of transformation of the chemical composition of the waters of the Moscow river has now stabilized. In conditions of complex anthropogenic pollution, including increased mineralization and water hardness, the sensitivity of some test organisms was reduced, despite the combined action of several pollutants. It is recommended to take this fact into account when developing water quality standards (MPC) in conditions that differ from standard (regional MPC) in order to avoid obtaining inflated MPC values. The research results can be used in the formation of methodological approaches to regional rationing.

Keywords: *Scenedesmus quadricauda*; *Daphnia magna*; bioassay; toxicity; MPC; sensitivity of test organisms; anthropogenic impact; the Moscow river.

В рамках проведения исследований по современному состоянию поверхностных вод реки Москва и пространственно-временной изменчивости их химического состава, для выявления степени трансформации химического состава вод под воздействием антропогенных факторов были проведены гидрохимические и токсикологические лабораторные исследования, включающие биотестирование. Учитывая, что токсичность природных вод обусловлена присутствием в них токсичных загрязняющих веществ, а биотестирование и химический анализ загрязнения водных объектов имеют общую цель – оценить их воздействие на водную экосистему, целью исследования было оценить отклик биотической компоненты на антропогенное воздействие.

Воды реки Москвы в верхнем и нижнем течении р. Москвы значительно отличаются как по гидролого-гидрохимическим характеристикам, так и по типу и степени антропогенной нагрузки. Около 80 км река протекает по территории города Москвы. В последние десятилетия, в связи с ростом населения Московского региона, развитием промышленности и сельского хозяйства и увеличением объемов грязных стоков значительно возросла антропогенная нагрузка на Москву-реку, что привело к ее загрязнению.

Основным источником антропогенного воздействия на исследованном участке реки Москвы являлись Курьяновские очистные сооружения (ОС). Это подтвердили данные гидрохмических и токсикологических исследований, выполненных в 2021 г. [1; 2]. После Курьяновских ОС значительно взрастают общая минерализация и жесткость вод, содержание минеральных форм азота и фосфора. Экспериментальные данные о чувствительности лабораторных тест-объектов к стандартному токсиканту в природной воде реки Москва с разной степенью антропогенной нагрузки в 2021 г. показали, что природная вода, не обладающая острой токсичностью, может снижать чувствительность тест-организмов к стандартному токсиканту, если используется в качестве среды для биотестирования. Оценка чувствительности к модельному токсиканту была выполнена на трех лабораторных тест-объектах, широко использующихся в биотестировании и экологической токсикологии, в том числе при разработке нормативов качества воды для водных объектов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{рх}$): одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turh.) Breb., ракообразных *Daphnia magna* Straus и рыбах *Poecilia reticulata* Peters., с использованием отобранных проб воды в качестве сред для приготовления тестируемых растворов токсиканта.

Была обнаружена корреляция величины полулетальной концентрации стандартного токсиканта для *Daphnia magna* с комплексом взаимосвязанных гидрохимических показателей, включая минерализацию.

В 2022 году исследование закономерностей изменения чувствительности лабораторных тест-организмов к модельному токсиканту в природной воде было продолжено, повторно в тех же точках, что и в 2021 году (табл. 1, рис. 1).

Материалы и методы

Материалом для исследования в 2022 г. послужили пробы воды, отобранные в реке Москва в период летней межени и в осенний период до начала процессов льдообразования. Схема расположения точек отбора проб приведена на рисунке 1, краткое описание мест отбора проб дано в таблице 1.

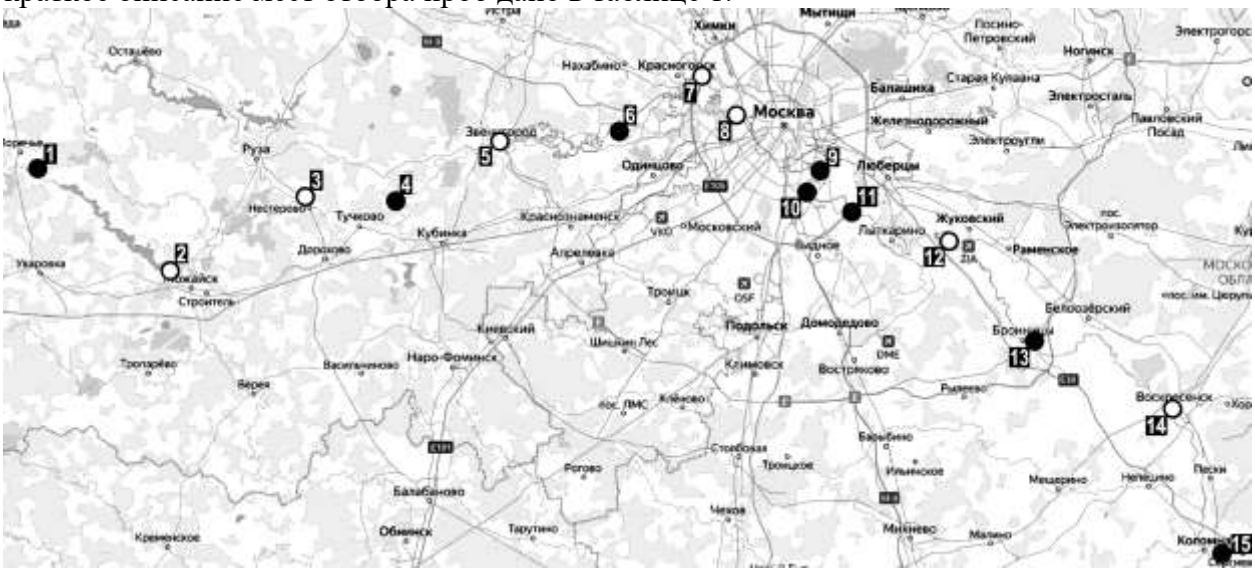


Рис.1. Схема расположения точек отбора проб воды в реке Москва (г. Москва и Московская обл.) в рамках многолетних мониторинговых исследований. Черные кружки – отбор проб на биотестирование и гидрохимический анализ

Таблица 1. Точки отбора проб воды в реке Москва (г. Москва и Московская обл.)

Точки отбора проб	Координаты		Краткое описание мест отбора проб
	Широта	Долгота	
1	55,6872	35,6021	д. Барсуки
4	55,6360	36,5686	Русло реки на границе д. Бережки и пос. дома отдыха Тучково
6	55,7431	37,1729	с. Петрово-Дальнее
9	55,6837	37,7141	г. Москва, район Печатники
10	55,6504	37,6781	г. Москва, Курьяново; вниз по течению от водовыпуска Курьяновских очистных сооружений
11	55,6201	37,8001	Городской округ Дзержинский
13	55,4225	38,2926	г. Бронницы, район Москворечье
15	55,0966	38,7988	Городской округ Коломна

Гидрохимические и исследования включали определение ионного состава, общей минерализации и жесткости, содержания минеральных форм азота и фосфора, токсикологические – определение фенолов и нефтепродуктов.

Биотестирование проб воды проводили на ракообразных *Daphnia magna* Straus и одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda (*Turh.) Breb. Исследования проводили в соответствии с Руководством по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов [3].

Острую токсичность проб воды оценивали по выживаемости дафний за 96 часов и росту численности водорослей за 72 часа. Критерием наличия острой токсичности в пробе принято снижение исследуемого показателя на 50% и более относительно контроля.

Физиологическую чувствительность тест-объектов оценивали по величине полулетальной концентрации ($ЛК_{50}$) стандартного токсиканта (бихромата калия) для дафний и полуэффективной концентрации ($ЭК_{50}$) для водорослей. Нормативный диапазон чувствительности к бихромату калия для дафний составляет 0,9-2,5 мг/дм^3 за 24 часа, для водорослей 1,3-2,5 мг/дм^3 за 48 часов. Чувствительность тест-объектов определяли с использованием отобранных проб воды в качестве сред для приготовления тестируемых растворов стандартного токсиканта; параллельно определяли чувствительность тест-объектов с использованием стандартных сред в соответствии с принятой методикой.

Обработку данных проводили в статистической среде R [5], в том числе с помощью библиотеки drc (version: 3.0-1), предназначенного для анализа зависимостей доза-эффект [6].

Результаты и обсуждение

Значительное влияние на химический состав вод р. Москвы оказывает хроническое антропогенное воздействие, связанное с поступление в реку сточных вод и загрязненного поверхностного стока, а также вторичное загрязнение за счет взаимодействия в системе вода-донные отложения. Можно предположить, что суммарное влияние антропогенных факторов на процесс трансформации химического состава вод р. Москвы в современных условиях, оцененное по данным 2021-2022 гг., должно отразиться на чувствительности лабораторных тест-объектов к стандартному токсиканту (бихромату калия) в природной воде реки Москва.

Характерным признаком трансформации химического состава вод р. Москвы при антропогенном воздействии является значительное увеличение содержания главных ионов и нарушение типичных для естественных условий их соотношений. Такие изменения наблюдались ниже по течению после Курьяновских ОС как в 2021 г., так и в 2022 г. В летний меженный и осенний периоды в 2022 г. минерализация к устью возрастала до 529,0 и 536,1 мг/дм^3, соответственно. На участке до границы г. Москвы она находилась в пределах 179,2-289,9 мг/дм^3 и 198,0-331,7 мг/дм^3, соответственно (табл.2). Жесткость воды изменялась в 2022 г. в интервале от 2,1 до 4,9°Ж. Повышение жесткости наблюдалось после попадание в реку очищенных сточных вод Курьяновских ОС (точка 10), хотя максимальное значение отмечено в верховьях реки в летний период (точка 1), где при небольшой глубине на жесткость значительно повлияло испарение воды при повышенных температурах воздуха.

Таблица 2. Величины минерализации и жесткости воды в реке Москва в летний и осенний периоды в точках отбора

Точки отбора проб	Летняя межень		Осенний период	
	Минерализация мг/дм^3	Жесткость °Ж	Минерализация мг/дм^3	Жесткость °Ж
1	408,3	4,90	331,7	3,97
4	289,9	3,36	250,7	2,91
6	361,3	4,04	327,5	3,69
9	408,2	4,01	418,5	4,35
10	542,3	4,51	518,7	4,53
11	464,3	4,26	513,9	4,69
13	512,2	4,43	529,8	4,63

15	529,6	4,64	536,1	4,73

Воды реки Москвы в основном недонасыщены по кислороду (52,5-97,4%), только в отдельных точках превышая 100%.

При увеличении концентраций главных ионов после Курьяновских ОС изменялось их соотношение, увеличивалась доля ионов натрия в катионном составе воды по сравнению с верховьем реки от 8 до 38%. Доля хлоридов в общем содержании анионов также возрастала в 6-8 раз после Курьяновских ОС при значимой корреляции между ионами натрия и хлоридами (R^2>0,96, p<0,05) во все обозначенные гидрологические сезоны.

Наиболее выражено загрязнение воды после Курьяновских ОС соединениями азота, концентрация суммарного минерального азота значительно увеличивалась после Курьяновских ОС по сравнению с точкой 1 (д. Барсуки), расположенной в верховьях реки от 0,007 до 4,517 мг/дм^3. Концентрации аммонийного и нитритного азота, а также минерального фосфора возрастали по сравнению с естественными условиями, значительно превышая ПДК$_{рх}$. Проблема недостаточной очистки от соединений азота на Курьяновских ОС обсуждалась ранее [4].

Биотестирование проб воды на *Daphnia magna* показало, что во всех исследованных точках не выявлена острая токсичность для ракообразных, выживаемость за 96 часов составила 100% во всех пробах.

Биотестирование проб природной воды на одноклеточных водорослях *Scenedesmus quadricauda* показало, что все пробы воды в летний и осенний периоды 2022 г. являлись нетоксичными, численность клеток водорослей в них через 72 часа наблюдения была выше, чем в контроле, на 54-155%, т.е. наблюдался эффект стимуляции.

Чувствительность *Daphnia magna* к стандартному токсиканту в пробах воды из реки Москва в целом оказалась в пределах нормативного диапазона, как и в 2021 году (рис. 2). Полученные в 2022 году данные демонстрируют ту же тенденцию, что и в 2021 году: увеличение полулетальной концентрации бихромата калия для *Daphnia magna* в пробах со станций №№ 10-15 – эти точки находятся ниже по течению Курьяновских очистных сооружений.

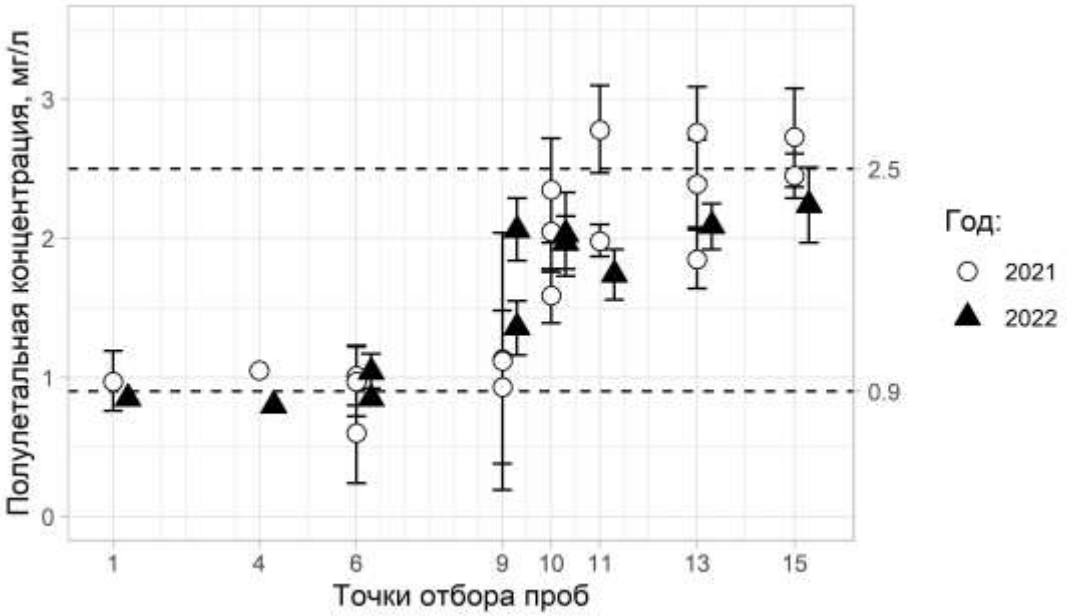


Рис.2. Пространственная изменчивость полулетальной концентрации бихромата калия для *Daphnia magna* за 24 часа («усы» – доверительный интервал ЛК$_{50}$)

Исследование чувствительности *Scenedesmus quadricauda* к стандартному токсиканту показало, что в целом полученные значения $ЭК_{50}$ (72 ч) оказались несколько ниже, чем в 2021 году, когда почти во всех точках они лежали выше нормативного диапазона чувствительности данного тест-объекта (рис.3).

Для полуэффективной концентрации бихромата калия для *Scenedesmus quadricauda* не были выявлены пространственные закономерности ни в 2021, ни в 2022 годах.

Сезонная изменчивость чувствительности дафний и водорослей не была выявлена ни в 2021, ни в 2022 году.

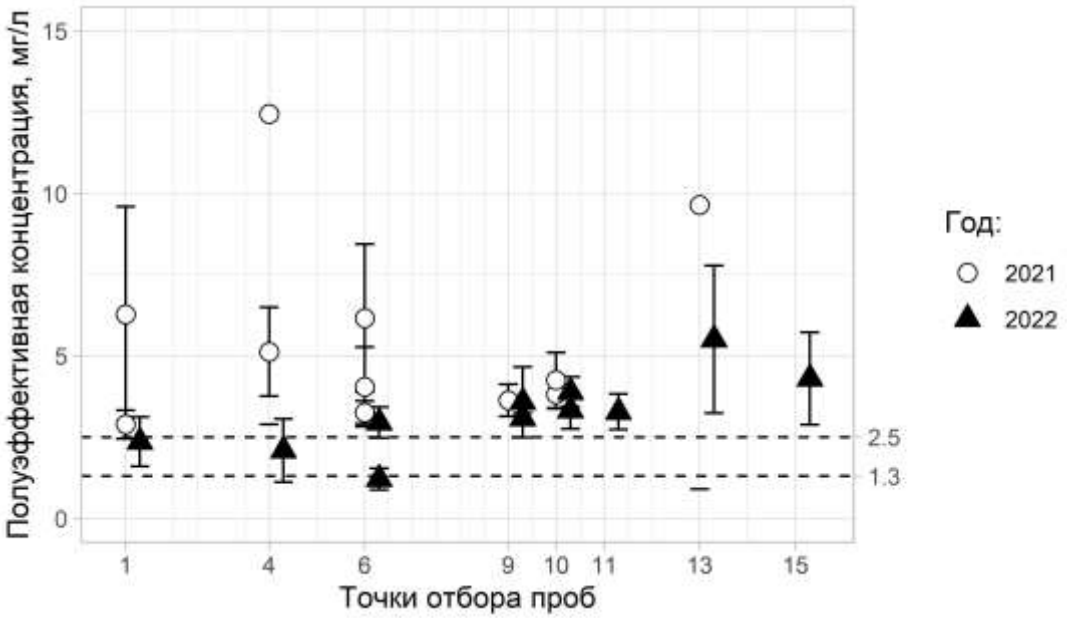


Рис. 3. Пространственная изменчивость полуэффективной концентрации бихромата калия для *Scenedesmus quadricauda* за 48 часов («усы» – доверительный интервал $ЭК_{50}$)

Заключение

Оценка острой токсичности природной воды методом биотестирования при устоявшемся гидрохимическом фоне не дает понимания степени антропогенного воздействия и его возможных хронических последствий для гидробионтов.

По результатам исследований, проведенных в 2022 году, подтвердились тенденции, выявленные в ходе исследований 2021 года, когда было показано, что в условиях комплексного антропогенного загрязнения, включающего повышение минерализации и жесткости, чувствительность тест-объекта оказалась снижена, несмотря на то, что имело место совместное действие нескольких загрязнителей. Этот факт рекомендуется учитывать при разработке нормативов качества воды в условиях, отличающихся от стандартных (региональных $ПДК_{рх}$), чтобы избежать получения завышенных величин $ПДК_{рх}$.

Благодарность. Авторы благодарят сотрудников ФГБНУ «ВНИРО», принимавших участие в экспедиционных исследованиях.

Список литературы

1. *Духова, Л. А*. Оценка гидрохимического режима и токсичности вод реки Москва в 2021-2022 гг / Л. А. Духова, Е. В. Оганесова, С. Ю. Кладити, В. В. Трофимова, Т. А. Самойлова, Е. С. Дмитриева, О. Н. Лукьянова // XI Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование» MARESEDU-2022 – Москва: 2022.

2. *Оганесова, Е. В*. Чувствительность лабораторных тест-организмов к бихромату калия в природной воде р. Москва / Е. В. Оганесова, Т. А. Самойлова, Е. С. Дмитриева, Л. А. Духова, В. В. Трофимова, С. Ю. Кладити // Водные ресурсы (в печати).
3. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. – М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2002. – 132 с.
4. *Тимофеева Е.А.* Оценка экологического состояния Москвы - реки в районе Курьяновских очистных сооружений / Е.А. Тимофеева, Е.И. Караванова // Городские исследования и практики. – 2018. – Т. 3, № 3 (12). – 99-110 с.
5. *R Core Team* R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, *2020*. – URL https://www.R-project.org/.
6. *Ritz, C.* Dose-response analysis using R / C. Ritz, F. Baty, J.C. Streibig, D. Gerhard // PLoS One. – 2015. – Vol. 10. – N 12: e0146021

УДК 574.52

ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС И КАЧЕСТВО ВОД РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.Н. Унковская [1], М. В. Косова [2,3], О.Ю. Деревенская [3], О.В Палагушкина [3], Н.В. Шурмина [2]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник», пос. Садовый, Республика Татарстан, Россия, l-unka@mail.ru

[2]Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия, mary.burunina96.5@yandex.ru

[3]Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия, oderevenskaya@mail.ru, opalagushkina@mail.ru

Аннотация. В статье обсуждаются результаты мониторинга гидрохимического режима и структуры планктонных сообществ разнотипных озер Волжско-Камского заповедника (Республика Татарстан). Дана сравнительная характеристика видового состава, численности и биомассы фито-и зоопланктона проточных и бессточных озер, приводится оценка трофического статуса и качества вод по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Ключевые слова: гидрохимический режим; фитопланктон; зоопланктон; заповедник; трофический статус; качество вод.

TROPHIC STATUS AND WATER QUALITY DIFFERENT TYPES OF THE VOLZHSKO-KAMSKY RESERVE LAKES

E.N. Unkovskya [1], M.V. Kosova [2,3], O.Y. Derevenskaya [3], O.V Palagushkina [3], N.V. Shurmina [2]

[1] Federal State Budget Institution "Volzhsko-Kamsky National Nature Biosphere Reserve", pos. Sadovy, Tatarstan Republic, Russia, l-unka@mail.ru

[2] Institute of ecology and subsoil use problems Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia, mary.burunina96.5@yandex.ru

[3] Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, oderevenskaya@mail.ru, opalagushkina@mail.ru

Summary.The article discusses the results of monitoring the hydrochemical regime and structure of planktonic communities in different types of lakes in the Volzhsko-Kamsky Reserve (Tatarstan Republic). A comparative description of the species composition, abundance and biomass of phyto- and zooplankton in flowing and drainless lakes is, and an assessment of the trophic status and water quality is given, this dates is based on hydrochemical and hydrobiological indicators.

Keywords: hydrochemical regime; phytoplankton; zooplankton; nature reserve; trophic status; water quality.

Изучение естественного хода природных процессов, особенно для неустойчивых водных экосистем, является основной задачей особо охраняемых природных территорий. На территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника мониторинг гидрохимического режима и структуры планктонных сообществ водоёмов и водотоков осуществляется более 30 лет, основные результаты которого опубликованы [9, 10]. Однако изменение климатических условий в последние годы отражается на динамике гидрологических процессов, вызывающих колебаниях в химическом составе воды и видовом составе гидробионтов.

Цель данных исследований – оценить современное состояние разнотипных озёр заповедника по гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Материал и методы

Гидрологическая сеть Раифского участка заповедника представлена 12 разнотипными водоёмами, которые по происхождению и расположению можно разделить на группы: проточные озера в долине рек Сумка и Сер-Булак, бессточные мелководные и «окна» в сплавинах торфяных болот. В настоящей работе анализируются результаты исследований для озер, характерных для каждой группы водоёмов. В долине р. Сумка расположено оз. Раифское (проточное, карстово-суффозионное, максимальная глубина 20,3 м), в долине р. Сер-Булак – оз. Линево (проточное, карстово-суффозионное, максимальная глубина 5,4 м). К долине р. Сумка относится бессточное, заболачивающее оз. Илантово (суффозионное, глубина 2,5 м), к долине р. Сер-Булак приурочено «окно» в болоте – оз. Долгое (глубина 12,5 м). Водосборы рек отличаются: р. Сумка протекает по полям и открытым участкам, р. Сер-Булак – по заповедной залесенной и частично заболоченной территории.

Пробы фито- и зоопланктона отбирали в середине вегетационного периода (июне-августе) 2022 года на сети контрольных станций. Отбор проб фитопланктона производился батометром Молчанова по горизонтам (через 2 м) и усреднялись до объема 10 л; обработка проб проводилась по общепринятым гидробиологическим методикам [5]. Пробы зоопланктона на глубоководных озерах отбирали путем последовательного облавливания сетью Джеди (размер ячеи – 100 мкм) слоев воды, выделенных в соответствии со стратификацией воды по температуре, на оз. Илантово – облавливанием всего столба воды от дна до поверхности. Камеральная обработка включала определение видового состава зоопланктона, расчет численности и биомассы, выполненные в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [2,6]. Степень разнообразия фито – и зоопланктона оценивали по индексу Шеннона (H) (по численности и биомассе) [12], индекс сапробности (S) рассчитывали по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека [11].

Параллельно в поверхностном и придонном горизонтах производился отбор гидрохимических проб, фиксировались физические показатели воды: прозрачность (по диску Секки), цвет (по шкале цветности ГОСТ 4266-79), температура через каждые 2 м (термометром на батометре Молчанова). Аналитическое определение растворимых

форм солевого состава, содержания биогенных веществ, металлов проводилось методами атомно-абсорционной спектроскопии и спектрофотометрии по аттестованным методикам в Лаборатории эколого-аналитических измерений и мониторинга окружающей среды Института проблем экологии и недропользования АН РТ. Сравнение химических показателей проводилось в соответствии с предельно допустимыми концентрациями для рыбохозяйственных водоемов [7] . Тип воды определялся по шкале О. А. Алекина [1]. Оценка качества воды осуществлялась согласно методу комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям (РД 52.24.643-2002) [8] с расчетом удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). Трофический статус озер оценивался по индексу трофического состояния (TSI), рассчитанному по величине прозрачности [10]. Статистическая обработка данных включала расчет средних значений, ошибки средней, выполнена в MS Excel.

Результаты

Тип воды исследуемых озер характеризовался как гидрокарбонатный класс группы кальция первого типа. Электропроводность воды изменялась от 42,0 мкСм/см в поверхностном слое оз. Долгое до 351,0 мкСм/см в придонном слое оз. Раифское. Среднегодовые значения суммы главных ионов (минерализации) возрастали в ряду оз. Илантово – оз. Долгое – оз. Линево – оз. Раифское от 62,4 мг/дм^3 до 185,5 мг/дм^3. Общая жесткость соответствовала категории «очень мягкая вода» в бессточных озерах и «мягкая» – в проточных. Водородный показатель соответствовал слабокислой среде (6,01-6,40 ед. pH) в заболачивающихся озерах в и нейтральной – в проточном оз. Раифское (7,6 ед. pH).

Газовый состав озер характеризовался достаточным насыщением растворенного кислорода в поверхностных слоях – 5,56-11,3 мг/дм^3 (52,0-105,0 %) и резким снижением в придонных – 0,93-6,55 мг/дм^3 (6,6-61,3 %), составляя минимальные значения в глубоководном оз. Раифское. В придонных слоях исследуемых озер (кроме оз. Илантово) к осени отмечалось накопление сероводора и гидросульфидов – 0,014-0,094 мг/дм^3 (максимальное значение в оз. Линево), превышающее ПДК$_{р/х}$ в 2,8-18,8 раза.

Количество органических веществ, оцененное по величине БПК$_5$ и ХПК, различалось в каждом водоёме в зависимости от характера водосбора и морфометрических показателей. В проточном оз. Раифское величина БПК$_5$ составляла 1,7-4,3 мгО$_2$/дм^3, величина ХПК – 17,5-47 мгО/дм^3; в заболачивающих озерах значение БПК$_5$ постепенно увеличивалось и составляло максимальные значения – 4,6-7,9 мгО$_2$/дм^3 (до 3,9 ПДК$_{р/х}$) и 52-80 мгО/дм^3 (2,7 ПДК$_{р/х}$) – в бессточном оз. Илантово. Концентрации биогенных веществ в поверхностных горизонтах не превышали допустимые нормы, но в придонных слоях озер отмечались превышения ПДК$_{р/х}$ до 1,4-5,8 раз по аммонийному иону и 4,5-10,5 раз – по фосфатам. Изменчивость основных органических и биогенных показателей по горизонтам представлена в таблице 1. Содержание тяжелых металлов в воде превышало ПДК$_{р/х}$ по меди (в 1,4-5,5 раз), марганцу (1,6-41,5), общему железу (1,7-59,0), что связано с геохимическими особенностями территории. Остальные концентрации тяжелых металлов не превышали ПДК.

В составе летнего фитопланктона выявлено от 13 (оз. Долгое) до 28 (оз. Раифское) таксонов водорослей рангом ниже рода. В озерах преобладали зеленые (36,6-46% от общего числа видов), диатомовые (19-33,3%) и эвгленовые водоросли. В проточном оз. Раифское (долина р. Сумка) значительную долю видов составляли цианобактерии, а в озерах, приуроченных к долине р. Сер-Булак – золотистые

водоросли. В каждом водоеме сформировался альгоценоз с собственными комплексами видов-домиантов.

Численность фитопланктона оз. Раифское, равная 847 тыс. кл. /л, формировалась, в основном, зелеными с доминантом *Coelastrum microporum* Näg. (21,7%), *Dictyosphaerium pulchellum* Wood (14,2%), *Scenedesmus bijugatus* (Turp.) Kütz. (11,4%). Биомасса фитопланктона оз. Раифское составляла 0,856 мг/л, и на 60% формировалась динофитовой водорослью *Peridinium cinctum* (Müll.) Ehrb., на 22,5% - эвгленовыми водорослями с доминантом *Trachelomonas volvocina* Ehr. (17,3%), также среди доминантов можно назвать и диатомовую водоросль *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in Cl. et Grun. var. Hantzschii (10,9%).

Таблица 1. Содержание органических и биогенных веществ (мг/дм^3) в исследуемых озерах

Название озера	Горизонт	БПК$_5$, мгО$_2$/дм^3	ХПК, мгО/дм^3	NH_4^+	NO_2^-,	NO_3^-	PO_4^{3-}
Раифское	Пов.	1,74-4,30[1] 2,81±0,61	20,0-47,0 27,65±6,46	0,06-0,17 0,11±0,02	0,02-2,00 0,52±0,49	0,10-031 0,22±0,04	0,05-0,05 0,05±0
	Дно	1,84-2,76 2,29±0,22	17,5-26,0 22,25±2,09	0,34-0,91 0,71±0,13	0,02-0,07 0,06±0,01	0,10-2,64 1,56±0,56	0,07-0,81 0,33±0,17
Линево	Пов.	3,24-5,26 3,90±0,47	53,0-57,0 54,3±0,95	0,05-0,71 0,42±0,15	0,02-0,02 0,02±0	0,75-1,00 0,85±0,06	0,11-0,16 0,14±0,01
	Дно	2,88-5,69 3,70±0,66	53,0-70,0 62,3±3,5	0,57-2,91 1,66±0,5	0,02-0,02 0,02±0	0,96-1,15 1,08±0,04	0,07-2,10 1,25±0,42
Илантово	Пов.	1,35-7,90 4,14±2,06	33,7-67,0 47,18±4,0	0,05-0,73 0,27±0,07	0,02-0,03 0,02±0,00007	0,10-0,79 0,45±0,09	0,15-1,02 0,58±0,08
	Дно	4,0-8,0 5,61±0,45	38,8-80,0 55,04±5,4	0,05-0,78 0,35±0,09	0,02-0,02 0,02±0	0,10-0,93 0,51±0,11	0,10-2,80 1,08±0,29
Долгое	Пов.	3,11±0,81[2]	39,0±9,4	0,43±0,13	< 0,02	0,89± 0,16	< 0,05
	Дно	6,60±0,86	48±12	0,60±0,18	< 0,02	0,95± 0,17	0,182± 0,029

Примечание: [1]В числителе-размах значений, в знаменателе-среднее значение и ошибка средней (n=4); [2] Результаты единичных измерений.

Численность фитопланктона оз. Линево, равная 1892,001 тыс. кл./л, на 55% формировалась диатомовыми с доминантом *Aulacoseira ambigua* (Grun.) Simons.(39,1%), на 22 % - эвгленовыми с доминантом *Trachelomonas volvocina* Ehr. (19%). Биомасса фитопланктона оз. Линево составляла 1,201 мг/л, и формировалась за счет эвгленовых водорослей (73%) с доминантами *Trachelomonas volvocina* Ehr.(43%) и *Trachelomonas lacustris* Drezep.(20%), доля диатомовых водорослей в общем значении биомассы составляла 25% без выраженного доминирования отдельных видов. Численность фитопланктона оз. Илантово составляла 580,8 тыс. кл. /л, и почти на 41% формировалось эвгленовыми водорослями (с доминантом *Trachelomonas volvocina* Ehr. (33,3%)), 38% вносили зеленые водоросли с доминантами *Crucigenia tetrapedia* (Kirchner) W. & G.S. West. и *Scenedesmus bijugatus* (Turp.) Kütz. (по 12,1%). Биомасса фитопланктона оз. Илантово, равная 0,717 мг/л, на 59% формировалось диатомовыми с доминантом вида рода *Pinnularia* (46,3%), на 37% - эвгленовыми с доминантом *Trachelomonas volvocina* Ehr. (31%). Численность фитопланктона оз. Долгое составляла 386,40 тыс. кл./л и на 57% формировалось зелеными с доминантами *Dictyosphaerium pulchellum* Wood (47,6%) и на 24% сине-зелеными с доминантом *Lyngbya limnetica* Lemm. Биомасса фитопланктона оз. Долгое составляла 0,197 мг/л и на 48% формировалось динофитовой водорослью

Gymnodinium sp. и на 34% диатомовыми с доминантом *Aulacoseira granulata* (Ehrb.) Simons. (30,6%).

Соотношение долей отделов водорослей в численности и биомассы фитопланктона разнотипных озер представлена на рисунке 1.

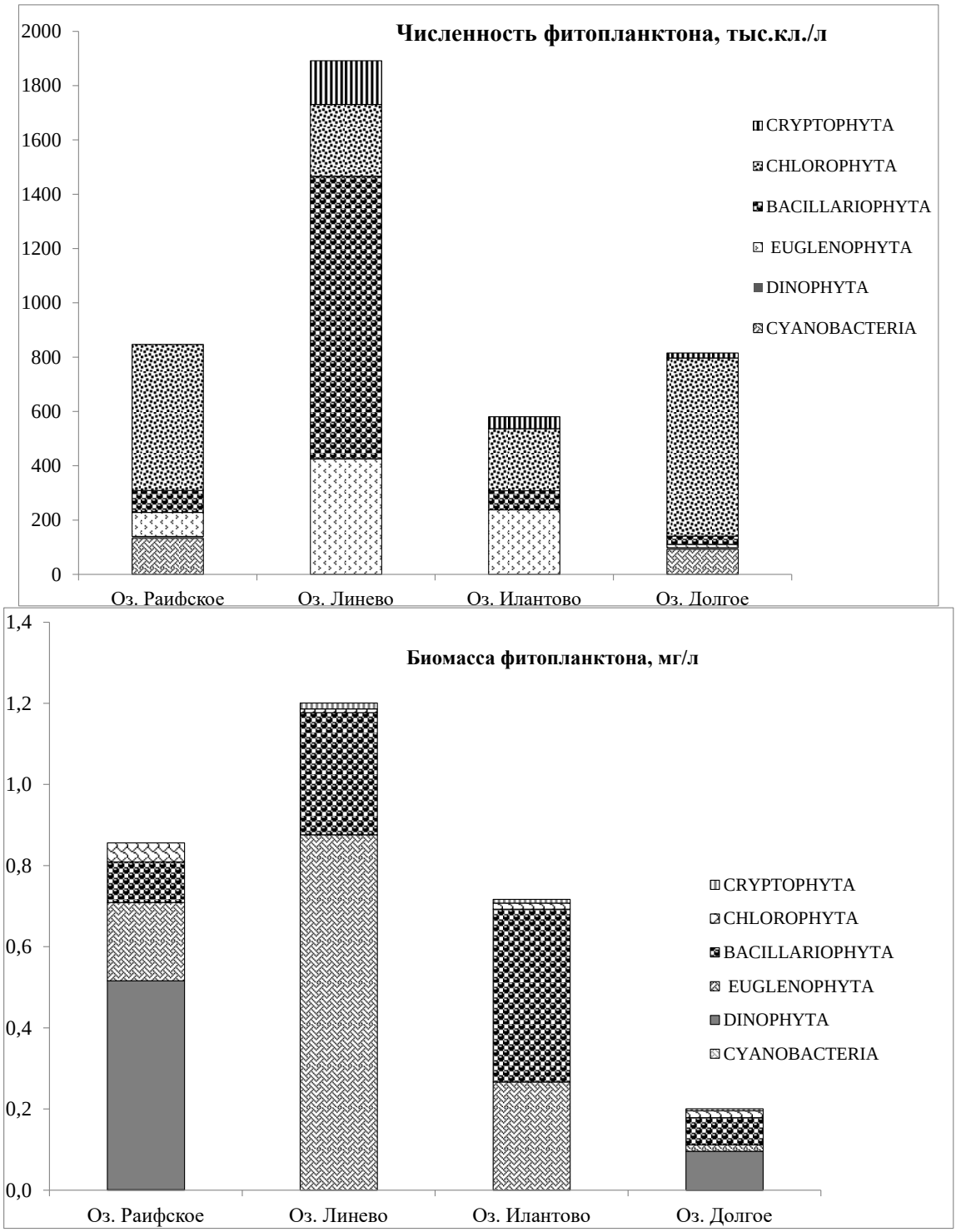


Рис. 1. Доля отделов водорослей в численности и биомассе фитопланктона разнотипных озер.

В составе летнего зоопланктона выявлено от 24 (оз. Илантово) до 32 (оз. Линево) видов, из них коловраток 54-58%, ветвистоусых ракообразных – 25-32%, веслоногих – 13-16%. Видовой состав озер сходен и характерен для водоемов Среднего Поволжья.

Соотношение групп зоопланктона в общей численности и биомассы представлено на рисунке 2.

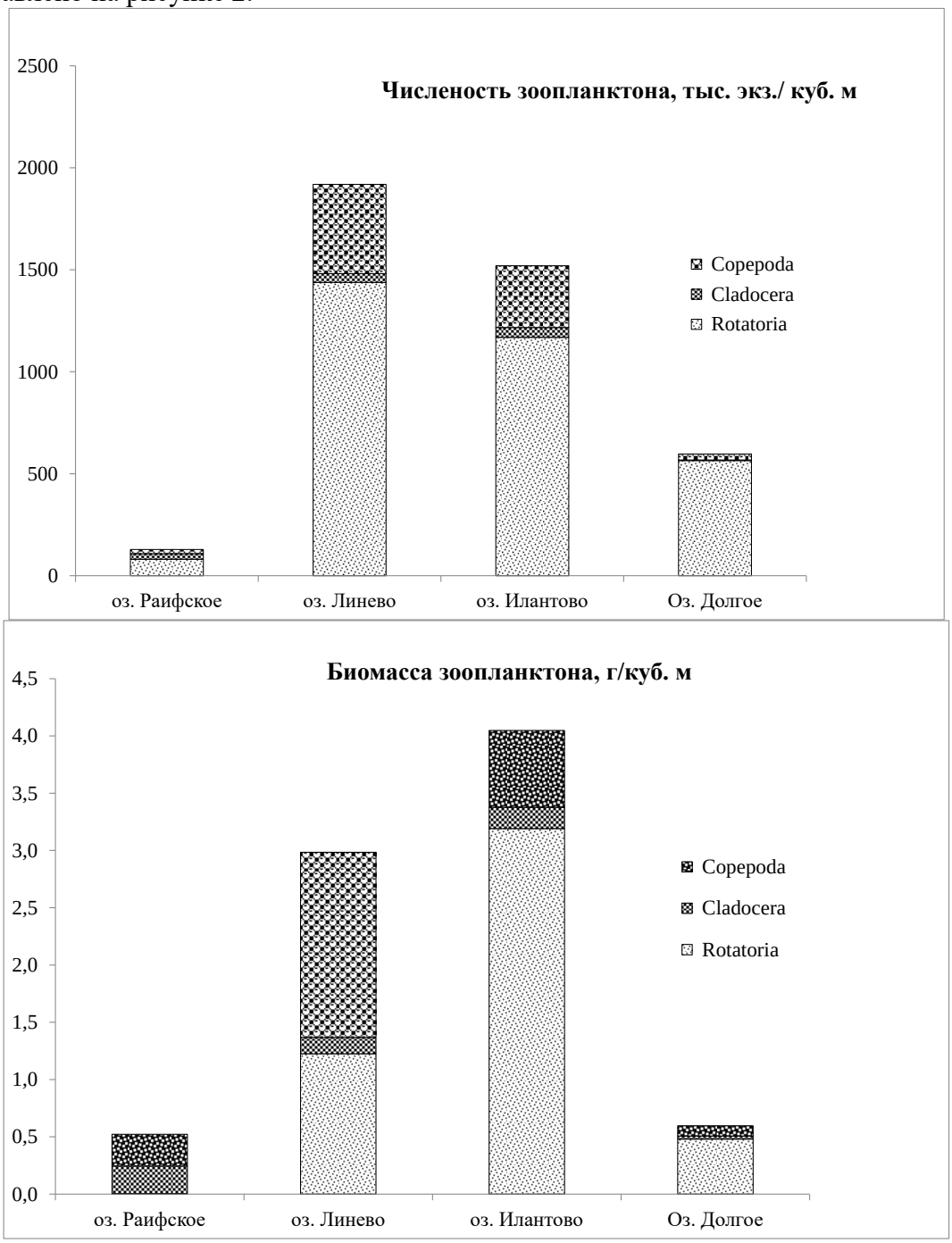


Рис. 1. Соотношение групп зоопланктона в общей численности и биомассе разнотипных озер

Численность зоопланктона оз. Раифское составляла 129,23 тыс. экз./м^3, биомасса – 0,523 г/м^3. Из групп зоопланктона по численности преобладали коловратки, веслоногие ракообразные по биомассе. По численности доминировала *Conochilus unicornis*, Rousselet,1892, по биомассе – *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888). Численность зоопланктона оз. Линево составляла 1918,78 тыс.экз/м^3, биомасса – 2,984 г/м^3. Из групп зоопланктона по численности преобладали коловратки, по биомассе – веслоногие ракообразные. По численности в большом количестве доминировала коловратка *Gastropus hyptopus* (Ehrenberg, 1838), по биомассе – копеподитные стадии веслоногих рачков. Численность зоопланктона оз. Илантово составляла 1519,68 тыс.экз./м^3, биомасса – 4,048 г/м^3. Из групп зоопланктона по численности и биомассе преобладали коловратки: по

численности преимущественно доминировала *Keratella cochlearis*, (Gosse, 1851), по биомассе – *Asplanchna priodonta,* Gosse, 1850. Численность зоопланктона оз. Долгое составляла 596,98 тыс.экз/м^3, биомасса – 0,597 г/м^3. Из групп зоопланктона по численности и по биомассе преобладали – коловратки. По численности доминировала *Keratella cochlearis*, по биомассе – *Asplanchna priodonta* и *Asplanchna girodi* de Guerne, 1888.

Обсуждение

Превышение ПДК$_{р/х}$ в воде озер наблюдалось от 5 до 9 ингредиентов химического состава из 18 определяемых показателей. Значение коэффициента комплексности загрязненности воды по отдельным результатам анализа исследуемых озер колебалось от 23,0% до 58,8%, составляя максимальные значения в придонных слоях оз. Линево. Загрязненность воды определялась как «характерная» по БПК$_5$ и растворенному кислороду, аммонийному азоту в поверхностных слоях воды озер, увеличиваясь до «устойчивой» по БПК$_5$, ХПК, содержанию общего железа, меди и марганца в придонных слоях. По данным обобщенного оценочного балла к определяющим показателям качества воды, для которых показатель S > 9, относилось биохимическое потребление кислорода (БПК$_5$), содержание сероводорода и гидросульфитов, фенолы и ряд вышеуказанных металлов – железо, медь и марганец – отмечающее в основном в придонных слоях озер. Следует отметить, что в данном районе отмечается высокое фоновое содержание данных металлов [4]. Результаты расчета удельно комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) показали, что качество воды озер изменялось от «условно чистой» в поверхностном горизонте оз. Раифского, «слабо загрязненной» в оз. Илантово до «грязной» (4 «а» класс качества) – в придонных слоях оз. Линево.

Трофический статус озер, оцененный по индексу Карлсона с величиной 56,1 (оз. Раифское) и 63,3-65,7 (оз. Линево, Долгое), характеризует озера как эвтрофные с указанием на доминирование синезеленых водорослей [10].

Индекс трофности, равный 41,5-46,7, рассчитанный по величине биомассы фитоплантона, определил озера трофический статус озер как мезотрофные. Исключение составил трофический статус оз. Долгое, где абиотические параметры дистрофного озера и низкая биомасса фитопланктона, характеризуют озеро как олиготрофный.

По величине биомассы зоопланктона, в соответствии с классификацией С.П. Китаева [3], озера имели разные оценки: оз. Раифское можно оценить как а-олиготрофный водоём, оз. Линево – β-мезотрофный, оз. Илантово – α-эвтрофный, оз. Долгое - β-олиготрофный. Значения индекса Шеннона менялись неравномерно и составляли по численности зоопланктона 1,66-2,48 (мезотрофный тип) и 1,25-3,28 – по биомассе, что соответствует олиготрофному-эвтрофному типам. Значения индекса сапробности составили 1,46-1,50 – олигосапробная зона (оз. Раифское и оз. Долгое) и 1, 7-β-мезосапробная зона (оз. Линево и оз. Илантово), как большинство водоёмов Республики Татарстан [4].

Заключение

Таким образом, разнотипные озера значительно отличаются друг от друга по гидрохимическому режиму и структуре планктонных сообществ. Различия связаны с характеристиками водосбора, в долинах которых расположены озера, и их морфометрическими параметрами и происхождением, а также опосредованным антропогенным воздействием через речную систему.

Трофический статус озер менялся в широком диапазоне, составляя в среднем мезотрофный. Использованные критерии для оценки качества воды и трофического статуса не представляют однозначных результатов и требуют экспертного анализа.

Список литературы

1. *Алекин, О.А.* Основы гидрохимии/ О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. — 442 с.

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

3. *Китаев, С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон/ С.П. Китаев. – М.: Наука, 1984. – 207 с.

4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан. – 398 с. – [https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_3770309.pdf]

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

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

7. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 "Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения" (с изменениями и дополнениями 12 октября 2018 г., 10 марта 2020 г.).

8. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. – Ростов-на-Дону, 2002. – 55 с.

9. *Унковская, Е.Н.* Гидрологическая и гидрохимическая характеристика водоемов Раифы / Е.Н. Унковская, Н.М. Мингазова, Л.Р. Павлова // Труды Волжско-Камского государственного природного заповедника. – 2002. – Вып. 5. – Казань, 2002. – С. 9 – 36.

10. *Унковская, Е. Н.* Гидрохимический режим водоёмов и водотоков Раифского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны / Е. Н. Унковская, О. Ю. Тарасов // Тр. Волж.-Камск. гос. природ. биосфер. зап-ка. – 2016. – Вып. 7. – С. 9–40.

11. *Carlson, R.* A Trophic state index for lakes /R. Carlson// A Limnology and Oceanography. – March, 1977. – 9 p.

12. *Sladecek, V.* System of water quality from biological point of view/ V. Sladecek //Egetnisse der Limnologie. – 1973. – Heft. 7. P. 218.

13. Shannon, C.E. The mathematical theory of communication/ C.E. Shannon, W.Weaver. – Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. – 117 p.

СЕКЦИЯ 4. ИНВАЗИОННЫЕ И ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ РЫБ И ИХ ПРОФИЛАКТИКА

УДК 574.52

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГИБЕЛЬ РЫБ ЗАРАЖЁННЫХ *DIGRAMMA INTERRUPTA* (L.) НА ПРИМЕРЕ РЫБ ИЗ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.В. Морозко [1,2], Е.А. Вялкова [3], А.В. Абрамов [1]

[1] Новосибирский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Новосибирск, Россия

[2] Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

[3] Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

Аннотация. Особенностями летнего сезона 2023 года в Новосибирской области были высокие температуры воздуха воды, а так же многоводье. Это позволило изучить влияние данных факторов на смертность рыб от диграммоза. Показано, что многоводность и высокие температуры напрямую не влияют на гибель, однако являются важными косвенными факторами влияющими на это. Высокие температуры воды и воздуха способствуют ускорению развития паразитов в теле хозяина, а высокие скорости течения, вызванные многоводьем увеличивают риск гибели рыб от попадания их с прибойной водой на берег.

Ключевые слова: диграммоз, заражение рыб плероцеркоидами, гибель рыб, абиотические факторы, температурный режим, гидрология.

INFLUENCE OF ABIOTIC FACTORS ON THE DEATH OF FISH INFECTED BY DIGRAMMA INTERRUPTA (L.) BY THE EXAMPLE OF FISH FROM THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR

A.V. Morozko [1,2], E.A. Vyalkova [3], A.V. Abramov [1]

[1] Novosibirsk branch of the Federal State Budgetary Institution “VNIRO”, Novosibirsk, Russia

[2] Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

[3] Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

Summary. Features of the summer season of 2023 in the Novosibirsk region were high air temperatures and high water levels. This made it possible to study the influence of these factors on fish mortality from digrammosis. It has been shown that high water content and high temperatures do not directly affect mortality, but are important indirect factors influencing this. High water and air temperatures accelerate the development of parasites in the host's body, and high current speeds caused by high water levels increase the risk of fish death from being washed ashore with surf water.

Key words: digrammosis, infection of fish with plerocercoids, fish death, abiotic factors, temperature regime, hydrology.

В норме считается, что лигулёз и диграммоз это заболевания, которые достаточно часто встречается у рыб в крупных водоёмах с отсутствующей или не большой проточностью: в озёрах, лиманах и водохранилищах, так как на их берегах скапливаются рыбоядные птицы – преимущественно чайковые – окончательные хозяева этих паразитов [1-7]. Новосибирское водохранилище не исключение, поэтому по всей его акватории ежегодно встречаются заражённые лигулёзом и диграммозом рыбы.

Несмотря на то, что Новосибирское водохранилище самый крупный искусственный водоём на территории Западной Сибири, по сравнению с другими водохранилищами России оно не велико. Акватория его вытянута с юго-запада на северо-

восток на 187 км. Изрезанность береговой линии невелика, её общая протяжённость 550 км. Площадь водохранилища составляет 1070 км², объём — 8,8 км³. По морфометрическим и гидрологическим параметрам водохранилище делится на 4 части: верхняя зона, средняя зона, Ирменский плес и Приплотинный плес. Два последних участка объединяются в нижнюю зону водоема [8]. Малая полезная ёмкость водоёма обуславливает его высокую проточность. Гидрологический режим водоёма полностью зависит от работы Новосибирской ГЭС, в многоводные годы происходит интенсивный сброс воды, ускоряется течение в водохранилище и происходит активный скат мелкого частика и младшевозрастных особей крупного частика из верхней зоны в среднюю и нижнюю зоны [9].

Возбудителями лигулёза и диграммоза у рыб являются плероцеркоиды цестод сем. Ligulidae. Первыми промежуточными хозяевами цестод являются циклопы и диаптомусы. Молодь рыб, питающаяся планктоном, наиболее часто подвержена заражению паразитами данного класса. Поселяясь в брюшной полости, плероцеркоиды растут и достигают таких размеров, при которых они сдавливают внутренние органы, вызывая их атрофию. В организме нарушают обменные процессы, заражённая рыба почти перестаёт питаться и истощается. Наряду с механическим воздействием на внутренние органы лигулы вызывают интоксикацию организма рыб продуктами своих выделений. Разрастающийся в полости тела гельминт нарушает функции плавательного пузыря. Заражённая рыба не может нормально плавать (плавает на боку или брюхом кверху) и опускаться в толщу воды, скапливаясь на поверхности водоёмов, особенно в мелководьях, куда её прибивает водой [10].

Целью работы стало выявить абиотические факторы, влияющие на гибель рыб заражённых *Digramma interrupta* (L.).

Материалы и методы

Заражение леща происходит на первом году жизни, пока он преимущественно питается планктоном. Обычно считается, что наиболее заметны эти заболевания становятся у рыб 3-4 лет, когда плероцеркоиды достигают в их брюшной полости размеров патологичных для плавания. Для того чтобы выборка рыб была наиболее достоверной для исследования отбираются рыбы возрастом 2+. Так в выборке можно наблюдать и здоровых и заражённых рыб до того, как заболевание проявится.

Рыба для исследований отбиралась два раза – в августе и октябре. Отлов рыбы производили ставными сетями с ячеёй 30-35 мм. Обработка ихтиологического материала проводилась в лабораторных условиях. У всех отловленных для изучения рыб проводился размерно-весовой анализ и определялся возраст. Для этого исследовались следующие показатели: длина от конца рыла до конца чешуйного покрова; масса тела с гонадами. Для взвешивания рыбы применялись весы. Длина рыб измерялась линейкой. Возраст определялся посредством подсчёта под бинокуляром годичных колец чешуи [11].

Отобранная для исследования рыба охлаждалась, для предотвращения гниения и гибели паразитических организмов, далее проводилось паталогоанатомическое вскрытие по методике Быховской-Павловской [12].

Определение паразитов до вида проводилось с помощью Определителя паразитов пресноводных рыб [13].

Оценивая заражённость рыб, мы использовали показатели экстенсивности инвазии (Э.И. – доля заражённых особей в процентах от общего числа обследованных рыб), интенсивности заражения (И.И. – число паразитов, встреченных на одной рыбе), индекс обилия (И.О. – число паразитов на одну исследованную рыбу).

Результаты и обсуждение

В результате отбора рыб в августе заражения плероцеркоидами ремнецов у рыб выявлено не было. Однако, осенью 2023 года в черте г. Новосибирска начали наблюдать

массовые скопления погибших лещей вдоль пляжей нижней зоны водохранилища и в р. Обь, по берегам недалеко от нижнего бьефа плотины Новосибирской ГЭС. Тогда был проведён контрольный отлов рыбы в октябре. Все изученные лещи были заражены плероцеркоидами цестод *Digramma interrupta*, которые локализовались в брюшной полости тела. Результаты представлены в таблице.

Таблица. Показатели заражённости леща из *Digramma interrupta*

Вид паразита	Экстенсивность инвазии	Интенсивность инвазии	Индекс обилия
D. interrupta	100%	1,2	1,2

Средняя длина изученных в августе и октябре лещей была 12-17 см, при этом длина плероцеркоидов, зарегистрированных в рыбе варьировалась от 12 до 27 см, у некоторых лещей обнаруживалось по 2 плероцеркоида.

Особенностями летнего сезона 2023 года были высокие температуры воздуха воды, а так же многоводье.

Главная задача любого паразита – завершить свой жизненный цикл, для этого ему нужно перейти от одного хозяина к другому. Когда плероцеркоиды достигают своих максимальных размеров в теле рыб, рыба становится уязвимой для птиц – окончательных хозяев цестод.

Высокие температуры способствовали развитию кормовых организмов (планктона и бентоса), что позволило лещам активно питаться. Заражённые плероцеркоидами цестод рыбы, потребляя пищу, фактически кормят паразита, находящегося в их теле. Так как недостатка в питании у хозяев паразитов не было, то цестоды начали активно расти и развиваться, и достигли опасных для заражённой рыбы размеров не за 3-4 года, а за два.

Из-за большого количества прибывающих с верховьев водных масс на Новосибирской ГЭС проводился активный сброс воды, это значительно усилило проточность Новосибирского водохранилища и скорость течения в водоёме. Больная рыба (не способная к активному плаванию) массово скатывалась к плотине ГЭС и через неё. Обычно эти рыбы были бы распределены по всем мелководным зонам водоёма. Поэтому на берегах водохранилища в районе г. Новосибирска и в нижнем бъефе ГЭС наблюдалось большое количество заражённых плероцеркоидами *D. interrupta* лещей, которые частично выброшены на берег, частично скапливались в мелководной прибрежной зоне. Поскольку плавательная функция у больных рыб была нарушена, многие из них гибли из-за попадания на берег.

Таким образом, нельзя сказать, что абиотические факторы водоёма влияют на гибель рыб от лигулёзов и диграммозов напрямую, но они оказывают достаточно сильное косвенное влияние на течение заболевания в целом, вызывая увеличение риска гибели рыб.

Список литературы

1. *Васильева, М. П.* Лигулез карповых рыб Чебоксарского водохранилища / М. П. Васильева, А. П. Никитина, Н. И. Косяев // Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицины : Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 27 октября 2022 года. – Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – С. 492-497.
2. *Голощапова, О. Н.* Актуальность изучения лигулеза в Михайловском водохранилище / О. Н. Голощапова, Н. С. Малышева // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2016. – № 17. – С. 140-142.
3. *Голощапова, О. Н.* Анализ пораженности рыб лигулезом на территории Курчатовского и Железногорского водохранилищ / О. Н. Голощапова, Н. С. Малышева // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. – 2015. – № 16. – С. 112-114.

4. *Скогорева, А. М.* Лигулез рыб в Воронежском водохранилище / А. М. Скогорева, Б. В. Ромашов, Н. В. Скогорева, О. А. Манжурина // Вестник ветеринарии. – 2011. – № 4(59). – С. 83-85. – EDN OJOBKV.
5. *Апсолихова, О. Д.* Ремнецы карповых рыб озер Центральной Якутии и Вилюйского водохранилища (распространение, биология и меры профилактики) : специальность 03.00.11 : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Апсолихова Ольга Дмитриевна. – Якутск, 2009. – 118 с.
6. *Померанцев, Д. А.* Некоторые эпизоотические аспекты болезней рыб в условиях Куйбышевского водохранилища / Д. А. Померанцев, С. А. Смолькина // Развитие инновационного потенциала агропромышленного производства, науки и аграрного образования : материалы Международной научно-практической конференции, Персиановский, 03–06 февраля 2009 года / Редколлегия: А.И. Баранников, Ю.А. Колосов, Е.В. Агафонов, Н.А. Зеленский, О.Н. Бунчиков, А.Л. Алексеев. Том 3. – Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Донской государственный аграрный университет", 2009. – С. 29-31.
7. *Новак, А. И.* Лигулез рыб на костромском участке Горьковского водохранилища, Костромском разливе и Галичском озере (распространение, компоненты паразитарной системы, патогенность) / А. И. Новак, С. К. Феоктистов, М. Д. Новак // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе : Материалы 53-й межвузовской научно-практической конференции, Кострома, 25–26 апреля 2002 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Департамент кадровой политики и образования; Костромская государственная сельскохозяйственная академия. Том 1. – Кострома: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – С. 131-132.
8. *Экология рыб* Обь-Иртышского бассейна. М.: Т-тво научных изданий КМК. - 2006 – 596 с.
9. *Савкин, В.М.* Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирский экологический журнал, Т.7, №2. – 2000. – С. 109 – 121.
10. *Митрофанова, И.* Патологоанатомические изменения в организме карповых рыб больных лигулезом / И. Митрофанова // В мире научных открытий : материалы V Всероссийской студенческой научной конференции (с международным участием), Ульяновск, 19–20 мая 2016 года / Главный редактор В.А. Исайчев. Том VI, Часть 1. – Ульяновск: Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина, 2016. – С. 336-338.
11. *Правдин, И.Ф.* Руководство по изучению рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
12. *Быховская-Павловская, И.Е.* Паразиты рыб. Руководство по изучению. – Л.: Наука, 1985. - 123с.
13. *Бауэр, О.Н.* Определитель паразитов пресноводных рыб. Т. 3. – Л.: Наука, 1987.

УДК 639.3.091

ПАРАЗИТОФАУНА ЩУКИ ОЗ. КУТАРАМАКАН (ПЛАТО ПУТОРАНА)

К.В. Поляева
Красноярский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НИИЭРВ»), Красноярск, Россия
glechoma21@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты первого исследования паразитофауны щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758 озера Кутарамакан (плато Путорана). Установлено заражение щуки 9 видами паразитов, относящихся к 5 систематическим группам. Доминирующими видами являются миксоспоридии *Henneguya psorospermica* Thelohan, 1895 и *Myxosoma anurum*

(Cohn, 1895) (ЭИ = 90,9 %; ИИ = 838,5 экз.), цестода *Triaenophorus nodulosus* (Pallas, 1781) (ЭИ = 83,4 %; ИИ = 13,0 экз.).
Ключевые слова: щука; *Esox lucius*; паразиты; миксоспоридии; скребни; арктическое озеро.

PARASITIC FAUNA OF *ESOX LUCIUS* FROM LAKE KUTARAMAKAN (PUTORANA PLATEAU)

K.V. Polyaeva
Krasnoyarsk Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Krasnoyarsk, Russia
glechoma21@gmail.com.

Summary. The results of the first study of parasitic fauna pike *Esox lucius* Linnaeus, 1758 from Lake Kutaramakan (Putorana plateau) are presented. Pike infected with 9 species of parasites belonging to 5 systematic groups. The dominant species are the myxosporidia *Henneguya psorospermica* Thelohan, 1895 and *Myxosoma acutum* (Cohn, 1895) (prevalence = 90,9 %; mean intensity = 838,5 specimens), cestode *Triaenophorus nodulosus* (Pallas, 1781) (prevalence = 83,4%; mean intensity = 13,0 specimens).
Keywords: pike; *Esox lucius*; parasites; myxosporidia; acanthocephalan; Arctic lake.

Таймырский полуостров – место расположения крупнейших озер Сибири. Труднодоступность и климатические условия региона являются причинами, по которым уникальные озера плато Путорана, внесенные в список наследия ЮНЕСКО, изучены слабо по сравнению с подобными водоемами европейской части России.

Ихтиофауна озера представлена сигом-пыжьяном, вальком, ряпушкой, пелядью, хариусом, щукой, окунем, налимом, гольцами р. *Salvelinus* [5]. Внимание ихтиологов привлекают в основном сиговые рыбы [2; 8], а исследования обитающей в озере щуки, которая является немаловажным участником экосистемы, отсутствуют.

Исследования ихтиопаразитофауны озера крайне малочисленны. Объектами исследования всех опубликованных сведений являются сиги [7; 12].

Целью данной работы являлось получение данных о паразитофауне щуки оз. Кутарамакан.

Материалы и методы

Озеро Кутарамакан (68°47' с.ш. 91°55' в.д.) относится к бассейну р. Енисей (РИС. 1). Озеро ледниково-тектонического происхождения. Состоит из двух взаимосвязанных частей. Имеет связь с Хантайским озером посредством реки Кутарамакан. Вытянуто с юго-запада на северо-восток. Протяженность южной части озера составляет 30 км, северного – 24 км, ширина обоих − 2 км. Общая площадь водного зеркала – 90 км².

Методом полного паразитологического вскрытия (за исключением исследования крови) [3] в августе – сентябре 2015 г. обследовано 13 экз. щуки *Esox lucius* Linnaeus, 1758.

Абсолютная длина (от вершины рыла до вертикали конца наиболее длинной лопасти хвостового плавника) исследованных экземпляров колебалась от 429 до 550 (504 ± 14,9) мм, промысловая (расстояние от конца рыла до заднего края чешуйного покрова) – от 336 до 569 (446 ± 17,2) мм. Масса колебалась от 360 до 1740 (894,6 ± 103) г. Возраст исследованных рыб составлял от 3+ до 7+ лет.

Для видовой идентификации паразитов использовали определители [9–11]. Видовое определение скребней рода *Neoechinorhynchus* проведено по статейному определителю и описанию [1, 6]. Классификация паразитов приводится на основе «Каталога паразитов пресноводных рыб Северной Азии» [13–16].

Статистический анализ зараженности проводился с помощью программы Excel пакета программ Microsoft Office 2007. Для характеристики зараженности рыб использовали следующие количественные показатели: экстенсивность инвазии (ЭИ – процент хозяев, зараженных видом паразита), интенсивность инвазии (ИИ – среднеарифметический показатель числа паразитов, приходящихся на одну зараженную особь хозяина), индекс обилия (ИО – средняя численность вида паразита у всех исследованных особей хозяина).

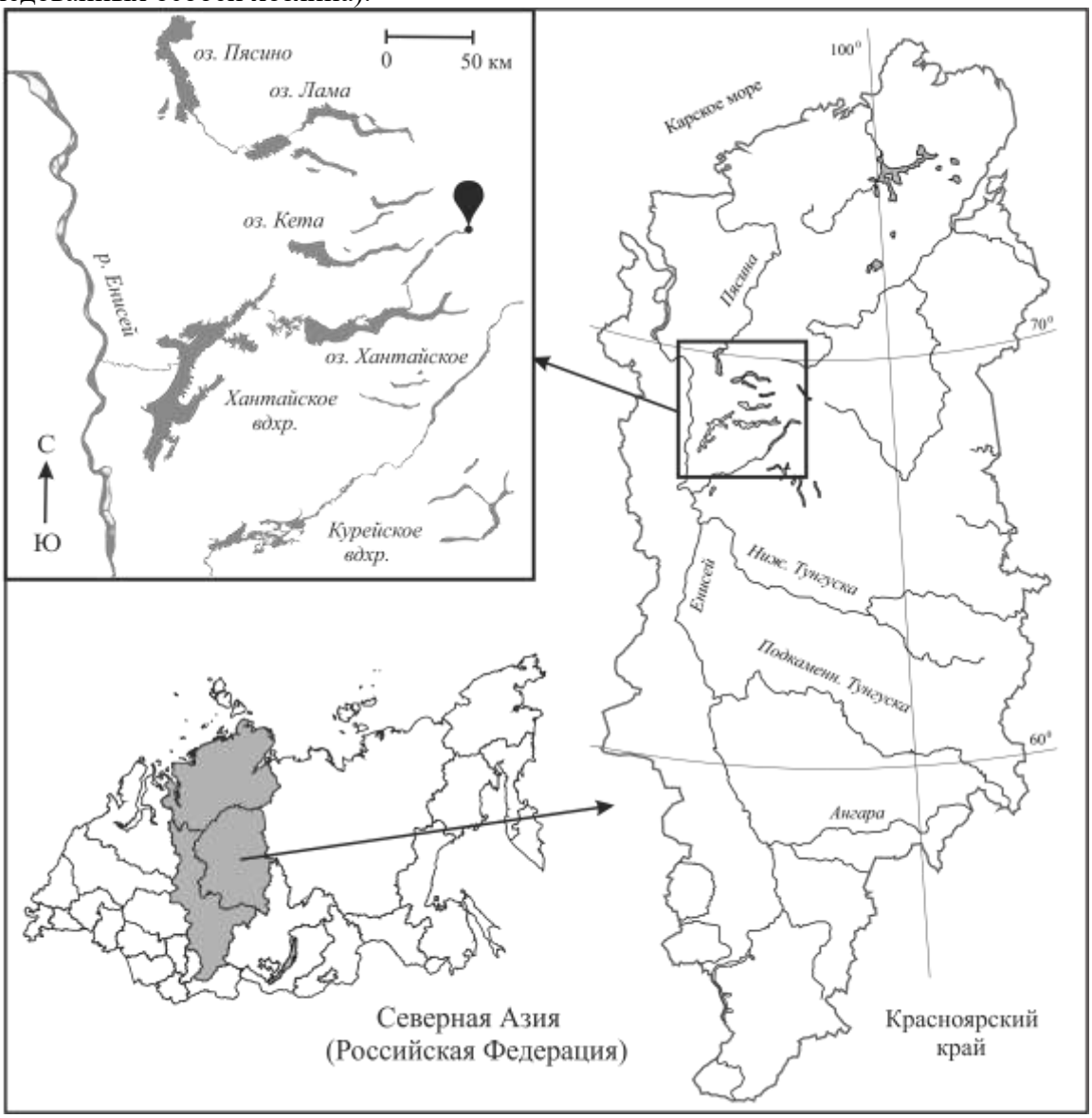


Рис. 1. Расположение оз. Кутарамакан

Результаты и обсуждение

В результате исследования у щуки оз. Кутарамакан обнаружено 9 видов паразитов, относящихся к 5 систематическим группам: миксоспоридии (2), моногенеи (1), цестоды (3), скребни (2) и пиявки (1) (табл. 1).

Обнаруженные цестоды *Proteocephalus* sp. находились на ранней стадии развития и не имели половозрелых члеников, что сделало невозможным точную видовую идентификацию.

Специфичными для щуки видами паразитов являются миксоспоридия *M. anurum*, моногенея *T. monenteron* и цестода *T. nodulosus*. Остальные виды полигостальны.

Интересна находка у щуки цестоды *S. pungitii*, специфичного паразита девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* Linnaeus, 1758. Цестода в единственном экземпляре

обнаружена в глотке щуки, куда она выползла, пока просматривались жаберные лепестки. Поэтому можно предположить, что паразит попал в желудок вместе с хозяином в качестве пищевого объекта. Таким образом, возможно пополнить список ихтиофауны оз. Кутарамакан девятииглой колюшкой.

Таблица 1

Видовой состав и количественные показатели зараженности паразитами щуки оз. Кутарамакан, 2019 год

Вид паразита	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.
Henneguya psorospermica Thelohan, 1895 & *Myxosoma anurum* (Cohn, 1895)*	90,9	838,5	762,3
Tetraonchus monenteron (Wagener, 1857)	58,3	11,6	6,7
Proteocephalus sp.	16,7	4,0	0,7
Triaenophorus nodulosus (Pallas, 1781)	83,4	13,0	10,8
Schistocephalus pungitii Dubinina, 1959	8,4	1,0	0,1
Neoechinorchynchus baueri sp.n.	16,7	1,0	0,2
Echinorhynchus borealis Linstow, 1901	25,0	5,7	1,4
Acanthobdella peledina Grube, 1851	8,4	1,0	0,1

Примечание: * – приведены совместные показатели зараженности для двух видов

Для скребня *N. baueri* sp. n. в качестве типовых дефинитивных хозяев описываются сиговые рыбы (сиг-пыжьян, чир), в качестве промежуточных – остракоды р. *Candona* [6]. Сиговые рыбы обитают в оз. Кутарамакан, но среди зообентосных организмов озера остракоды пока не зарегистрированы [5].

Большинство видов паразитов (8 видов) относятся к автогенным видам и заканчивают жизненный цикл в организмах рыб. Дефинитивными хозяевами единственного обнаруженного аллогенного вида паразитов (*S. pungitii*) являются рыбоядные птицы.

Простой цикл развития характерен для двух видов паразитов (моногенея *T. monenteron* и пиявка *A. peledina*). У паразитов со сложным циклом развития промежуточными хозяевами являются зоопланктонные организмы (цестоды *Proteocephalus* sp., *S. pungitii*), зообентосные организмы (скребни *N. baueri* sp.n., *E. borealis*) и многие виды рыб (цестода *T. nodulosus*). Долгое время жизненный цикл миксоспоридий считался моноксенным, однако активное изучение этой группы паразитов в последние десятилетия привело к пониманию, что помимо рыб в их жизненных циклах принимают участие и различные виды олигохет [4]. Поскольку результатов исследований жизненных циклов *H. psorospermica* и *M. anurum* нам найти не удалось, то однозначно высказаться о наличии или отсутствии у них промежуточных хозяев мы не можем.

Четыре из обнаруженных видов паразитов представляют бореальный равнинный фаунистический комплекс (*H. psorospermica, M. anurum, T. monenteron, T. nodulosus*). Два вида паразитов относятся к арктическому пресноводному фаунистическому комплексу (*E. borealis, A. peledina*). Остальные виды паразитов невозможно отнести ни к одному из фаунистических комплексов.

Доминирующими видами паразитов у щуки являются миксоспоридии *H. psorospermica* и *M. anurum* (ЭИ = 90,9 %; ИИ = 838,5 экз.), локализующиеся на жаберных лепестках, и цестода *T. nodulosus* (ЭИ = 83,4 %; ИИ = 13,0 экз.), обитающая в кишечнике. Заражение щуки цестодой происходит при поедании второго промежуточного хозяина – рыб разных видов. В оз. Кутарамакан цестода отмечена в цистах на желудках сига-пыжьяна (ЭИ = 4,0 %; ИИ = 1,0 экз.) и валька (ЭИ = 7,7 %; ИИ = 2,0 экз.) [12]. У пеляди и ряпушки цестода не зарегистрирована (неопубликованные данные автора).

Заключение

В результате исследования получены первые сведения о паразитофауне щуки оз. Кутарамакан: зарегистрировано 9 видов паразитов. Доминирующими видами являются миксоспоридии *H. psorospermica* и *M. anurum* (ЭИ = 90,9 %; ИИ = 838,5 экз.) и цестода *T. nodulosus* (ЭИ = 83,4 %; ИИ = 13,0 экз.). Паразитофауна складывается из представителей бореального равнинного и арктического пресноводного фаунистических комплексов. Большинство видов паразитов автогены.

Благодарности. Автор искренне признателен за помощь в сборе материла ФГБУ «Объединенная дирекция заповедников Таймыра» и д.б.н. В.И. Романову; за помощь в составлении карты – Н.О. Яблокову.

Список литературы

1. *Атрашкевич, Г.И.* Биоразнообразие скребней рыб пресных вод Азиатской Субарктики / Г.И. Атрашкевич, Е.И. Михайлова, О.М. Орловская, В.В. Поспехов // Паразитология. – 2016. – Т. 50. – № 4. – С. 236–290.
2. *Бочкарёв, Н.А.* Морфологическая и генетическая изменчивость симпатрических сигов комплекса *Coregonus lavaretus pidschian* из оз. Кутарамакан Хантайской гидросистемы (п-ов Таймыр) / Н.А. Бочкарёв, Е.И. Зуйкова, В.И. Романов, И.А. Черданцев, О.А. Беглецов, Е.С. Захаров, Л.А. Ушницкая, Н.Н. Осипова, Л.А. Пестрякова // Генетика. – 2020. – Т. 56. – № 5. – С. 571–583. DOI: 10.31857/S0016675820050033
3. *Быховская-Павловская, И.Е.* Паразиты рыб. Руководство по изучению / И.Е. Быховская-Павловская – Л.: Наука, 1985. – 121 с.
4. *Дудин, А.С.* Современное состояние изученности жизненных циклов представителей типа Myxozoa / А.С. Дудин // Паразитология. – 2010. – Т. 44. – № 3. – С. 262–273.
5. *Заделёнов, В.А.* Ихтиофауна больших Норильских озер (Кутарамакан, Лама, Собачье) / В.А. Заделёнов, Л.А. Глущенко, В.В. Матасов, Е.Н. Шадрин // Научные труды Федерального государственного бюджетного учреждения «Объединенная дирекция заповедников Таймыра». Норильск: «АПЕКС», 2015. – С. 116–130.
6. *Михайлова, Е.И. Neoechinorhynchus baueri* sp. n. (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) – паразит пресноводных рыб Северной Азии / Е.И. Михайлова, Г.И. Атрашкевич // Паразитология. – 2019. – Т. 53. – № 1. – С. 40–53. DOI: 10.1134/S0031184719010046
7. *Некрасов, И.С.* Сиг-пыжьян в озерах Гыданского полуострова и плато Путорана. Состояние кормовой базы и размерно-весовые параметры рыб / И.С. Некрасов, А.Г. Селюков, Д.В. Кропачев // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 67–70.
8. *Никулина, Ю.С.* Морфологическая характеристика пеляди из озера Кутарамакан (плато Путорана) / Ю.С. Никулина // Актуальные вопросы экологии Волжского бассейна. – Тольятти: Кассандра, 2017. – С. 278–281.
9. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 1. Паразитические простейшие. – Л.: Наука, 1984. – 431 с.
10. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 2. Паразитические многоклеточные (1-я часть). – Л.: Наука, 1985. – 425 с.
11. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 3. Паразитические многоклеточные (2-я часть). – Л.: Наука, 1987. – 583 с.
12. *Поляева, К.В.* Сравнительная характеристика паразитофауны сигов-бентофагов из озер Собачье и Кутарамакан (плато Путорана) / К.В. Поляева // Современные проблемы

теоретической и морской паразитологии. – Севастополь: Изд-ль Бондаренко Н.Ю., 2016. – С. 110–112.
13. *Пугачев О.Н.* Каталог паразитов пресноводных рыб Северной Азии. Простейшие / О.Н. Пугачев. – СПб: Зоологический ин-т РАН, 2001. – 242 с.
14. *Пугачев, О.Н.* Каталог паразитов пресноводных рыб Северной Азии. Книдарии, моногенеи, цестоды / О. Н. Пугачев. – СПб: Тр. Зоологического ин-та РАН, 2002. – Т. 297. – 248 с.
15. *Пугачев О.Н.* Каталог паразитов пресноводных рыб Северной Азии. Трематоды / О.Н. Пугачев. – СПб: Тр. Зоологического ин-та РАН, 2003. – Т. 298. – 224 с.
16. *Пугачев, О.Н.* Каталог паразитов пресноводных рыб Северной Азии. Нематоды, скребни, пиявки, моллюски, ракообразные, клещи / О.Н. Пугачев. – СПб: Тр. Зоологического ин-та РАН, 2004. – Т. 304. – 250 с.

УДК 592

ФАКТОРЫ РИСКА ЗАРАЖЕНИЯ ОПИСТОРХОЗОМ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР

А.В. Симакова, И.Б. Бабкина, А.М. Бабкин, Н.В. Полторацкая
Национальный исследовательский «Томский государственный университет», Томск, Россия, omikronlab@yandex.ru

Аннотация. В статье приведена современная ситуация по описторхозу в Томской области. Экстенсивность инвазии первых промежуточных хозяев (моллюски сем. Bithyniidae) церкариями *O. felineus* составляет 0,97 %. Из 11 изученных видов карповых рыб носителями метацеркарий *O. felineus* оказались 9 видов. Наиболее зараженными оказались четыре вида рыб: язь и елец преимущественно в реках (значительно в меньшей степени плотва, гольян, пескарь, лещ и уклейка); линь и верховка в озерах, курьях, старицах. Лещ, уклейка, верховка и пескарь ранее свободные от инвазии, в настоящее время являются носителями личинок кошачьей двуустки. Зараженность рыб увеличивается с размерами и возрастом рыб, и не зависит от пола рыб. Экстенсивность инвазии рыб колеблется от 2,1 до 100 %, интенсивность инвазии от 1 до 52,6 экз./рыбу, индекс обилия от 0,1 до 52,6 экз./рыбу. Среди 5 видов диких плотоядных животных и домашних собак заболеваемость описторхозом не выявлена. В последнее время наблюдается снижение заболеваемости населения, однако она до сих пор находится на очень высоком уровне. Установлено, что разработка мер по снижению заболеваемости населения должна быть направлена на снижение численности моллюсков вблизи населенных пунктов, предотвращение попадания фекалий с яйцами в водоемы и лечебно-профилактическую работу с населением.

Ключевые слова: *Opisthorchis felineus*; моллюски; карповые рыбы; эпизоотология, эпидемиология; Томская область.

RISK FACTORS FOR OPISHTORCHIASIS INJECTION: A COMPREHENSIVE REVIEW

A.V. Simakova, I.B. Babkina, A.M. Babkin, N.V. Poltoratskaya
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, omikronlab@yandex.ru

Summary. The article presents the current situation with opisthorchiasis in the Tomsk region. The extent of invasion of the first intermediate hosts (mollusks of the family Bithyniidae) by *O. felineus* cercariae is 1.97%. Of the 11 studied species of cyprinid fish, 9 species turned out to be carriers of *O. felineus* metacercariae. Four species of fish turned out to be the most infected: ide and dace, mainly in rivers (roach, minnow, gudgeon, bream and common bleak to a

much lesser extent); tench and sunbleak in lakes, oxbow lakes. Bream, common bleak, sunbleak and gudgeon, previously free from infestation, are currently carriers of cat fluke larvae. The infestation of fish increases with the size and age of the fish, and does not depend on the sex of the fish. The extent of fish invasion ranges from 2.1 to 100%, the intensity of invasion from 1 to 52.6 specimens/fish, the abundance index from 0.1 to 52.6 specimens/fish. Among 5 species of wild carnivores and domestic dogs, the incidence of opisthorchiasis was not detected. Recently, there has been a decrease in the incidence of the population, but it is still at a very high level. It has been established that the development of measures to reduce the incidence of disease in the population should be aimed at reducing the number of mollusks near populated areas, preventing the entry of feces with eggs into water bodies and therapeutic and preventive work with the population.

Keywords: *Opisthorchis felineus*; snails; carp fish; epizootology, epidemiology; Tomsk region.

В РФ описторхоз является одной из самых актуальных и социально значимых проблем. Неблагополучными по описторхозу являются практически все территории Обь-Иртышского бассейна. Известно, что большое количество населения областей, расположенных по берегам Оби и Иртыша, заражены этим паразитом. Томская область занимает одно из лидирующих мест по зараженности населения кошачьей двуустской. Не смотря на 139-летнюю историю изучения описторхоза, многие вопросы остаются открытыми. Это связано с широким ареалом обитания и сложным жизненным циклом паразита, включая брюхоногих моллюсков, карповых рыб и плотоядных млекопитающих. Изучение зараженности всех звеньев жизненного цикла *O. felineus* – важнейшая часть в борьбе и профилактике описторхоза.

Цель исследования: оценка современной ситуации по описторхозу в Томской области и выявление факторов риска заражения описторхозом.

Материал и методы

Материал моллюсков и рыб собран в период с 2016 по 2021 гг. в бассейне Средней Оби, включая притоки первого и второго порядка, а также пойменных и материковых озерах. На зараженность *O. felineus* исследованы моллюски: *Bithynia tentaculata* (Linnaeus, 1758), *Bithynia troschelii* (Paasch, 1842) (syn. *Opisthorchophorus troscheli*) в общем количестве 2987 экз. Для изучения зараженности рыб исследовано 11 видов семейства карповые, из них 6 промысловых видов (лещ, плотва, язь, елец, карась золотой, карась серебряный), 5 видов объектов любительского рыболовства (верховка, уклейка, пескарь, линь, речной гольян). Общее количество исследованных рыб 1863 экз. Для анализа на зараженность плотоядных животных был собран копрологический материал от 74 диких животных пяти видов (бурый медведь, ондатра, американская норка, соболь, лиса) и от 27 домашних животных (собаки).

Исследования проводились с использованием общепринятых ихтиологических и паразитологических методик [2; 3]. Для идентификации личинок трематод применялись морфологические методики [6; 7]. Для идентификации сложно определяемых трематод, применялись молекулярно-генетические методы [4]. Использовались t-критерий Стюдента и критерий Краскела-Уолиса.

Результаты и обсуждение

В результате наших исследований в период с 2019 по 2022 гг. в пойменных водоемах рек Оби и Томи выявлено два вида моллюсков р. *Bithynia* – *B. tentaculata* и *B. troschelii*, плотность популяций варьирует от 3 до 110 экз./м^2. Экстенсивность инвазии моллюсков *B. troschelii* церкариями *O. felineus* в целом составила 0,97 %, может значительно изменяться в зависимости от водоема, сезона, и года наблюдений [10].

Из 14 видов карповых рыб, обитающих в бассейне Средней Оби, на зараженность метацеркариями *Opisthorchis felineus* обследовано 11 видов [1;11–13]. Из них 9 видов оказались носителями метацеркарий *O. felineus*. Экстенсивность инвазии рыб колеблется от 2,1 до 100 %, интенсивность инвазии от 1 до 52,6 экз/рыбу, индекс обилия от 0,1 до 52,6 экз/рыбу. Высокие показатели зараженности отмечены у язя (ЭИ 100 %, ИИ 52,6 экз./рыбу, ИО 52,6), ельца (81,6 %, 15,5, 12,7), линя (89,3 %, 11,2, 10,0) и верховки (41,5 %, 1,1, 1,8).

Установлено, что зараженность рыб увеличивается с возрастом, так как происходит накопление метацеркарий в мышцах рыб, в то время как зависимости зараженности от пола рыб не выявлено. Кроме того, в разных водоемах зараженность рыб может значительно варьировать. Лещ, уклейка, верховка и пескарь ранее свободные от инвазии, в настоящее время являются носителями личинок кошачьей двуустки.

Изучение многолетней динамики зараженности рыб показывает увеличение показателей ЭИ и ИИ в последние годы у язя, ельца и уклейки, в то время как у плотвы в магистральном водотоке – р. Обь зараженность снижается.

Таким образом, в настоящее время наиболее зараженными оказались язь и елец в водотоках, линь и верховка в озерах Томской области.

Изучение диких и домашних плотоядных животных не выявило зараженных особей, что может говорить о низкой зараженности животных в исследуемом регионе [9].

Томская область остается напряженным очагом описторхоза. Заболеваемость описторхозом в 2022 году превышала средние показатели Российской Федерации в 7 раз. Показатели областной заболеваемости имеют тенденцию к снижению. Несмотря на кажущееся благополучие проблема описторхоза остается актуальной на всех административных территориях Томской области, являющихся эндемичными по описторхозу. Истинное число больных описторхозом с учетом поправочного коэффициента в 15 раз превышает значения впервые выявленных случаев [8]. Так, в некоторых населенных пунктах Томской области уровень пораженности населения может достигать 90-95 %.

Описторхоз зарегистрирован во всех возрастных группах. В эпидемиологический процесс вовлечено как городское, так и сельское население области. Показатели заболеваемости городского населения составили – 302,00 на 100 тыс. населения, сельского – 237,28 на 100 тыс. населения [5].

По территории области заболеваемость распределена неравномерно. Максимальные показатели регистрируются на севере Томской области: Александровский (420,51 на 100 тыс. населения), Верхнекетский (502,76 на 100 тыс. населения), Каргасокский (637,68 на 100 тыс. населения), Парабельский (472,98 на 100 тыс. населения), Тегульдетский (902,91 на 100 тыс. населения), Чаинский (395,16 на 100 тыс. населения) районы и г. Кедровый (475,22 на 100 тыс. населения) [5].

Таким образом, заболеваемость населения описторхозом в Томской области находится на очень высоком уровне.

Заключение

В Томской области очаг описторхоза приурочен к основным водотокам, реке Обь и ее притокам. Современная эпизоотическая ситуация по описторхозу чрезвычайно тяжелая. Разработка мер по снижению заболеваемости населения должна быть направлена на снижение численности моллюсков вблизи населенных пунктов, предотвращение попадания фекалий с яйцами в водоемы и лечебно-профилактическую работу с населением.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2020-0019).

Список литературы

1. *Бабкина, И.* Б. Сибирский елец *Leuciscus baicalensis* в водотоках разного порядка бассейна Средней Оби и его роль в циркуляции описторхоза / И. Б. Бабкина, А. В. Симакова, А. М. Бабкин, Е. А. Интересова // Вопросы ихтиологии. – 2021. – Т. 61, № 6. – С. 730–735.
2. *Бауер, О. Н.* Болезни прудовых рыб / О. Н. Бауер, В. А. Мусселиус, Ю. А. Стрельников. – М. : Легкая пищевая промышленность, 1981. – 320 с.
3. *Беэр, С. А*. Биология возбудителя описторхоза / С. А. Беэр. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2005. – 336 с.
4. *Брусенцов, И. И.* ДНК-диагностика смешанной инвазии *Opisthorchis felineus* и *Metorchis bilis* с помощью ПЦР / И. И. Брусенцов, А. В. Катохин, З. В. Сахаровская [и др.] // Медицинская паразитология. – 2010. – № 2. – С. 10–13.
5. Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2002 – 2022 гг.» (Электронный ресурс). Режим доступа: rospotrebnadzor.ru.
6. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Т. 3. Паразитические многоклеточные. (Вторая часть). – Л. : Наука, 1987. – 583 с.
7. Патент № 2708990 РФ; МПК A61D 99/00 (2006/.01). Способ прижизненной дифференциальной диагностики метацеркарий описторхид: № 2018144035, заявл. 12.12.18: опубл.13.12.19 / В. Н. Воронин, Т. М. Кудрявцева, Е. В. Кузнецова, А. С. Дудин: патентообладатель ФГБОУ ВО СПбГАВМ. – Бюл. №35.
8. Письмо Роспотребнадзора от 24 сентября 2018 г. № 01/12315-2018-27 "О реализации постановления Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 12.12.2016 № 179 «О предупреждении распространения паразитозов, передающихся через рыбу и рыбную продукцию в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL : https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72008550 (дата обращения 17.11.2022.
9. *Симакова, А. В*. Копрологическое исследование паразитов диких плотоядных животных юга Западной Сибири (Томская область, Россия) / А. В. Симакова, И. Б. Бабкина, А. М. Бабкин // Материалы IV Международного паразитологического симпозиума «Современные проблемы общей и частной паразитологии» – 4-7 декабря 2022 г., Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУВМ. – 2022. – С. 224–227.
10. *Симакова, А. В.* Зараженность моллюсков рода Bithynia церкариями трематод сем. Opisthorchiidae в водоемах бассейна реки Обь (Томская область, Россия) / А. В. Симакова, И. Б. Бабкина, А. В. Катохин [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2023. – №62. – С. 79–93. Doi: 10.17223/19988591/62/4.
11. *Simakova, A. V.* Infestation of alien cyprinid fishes with trematode *Opisthorhis felineus* Rivolta, 1884 in the middle Ob River basin / A. V. Simakova, I. B. Babkina, A. M. Babkin [et al.] // Russian Journal of Biological Invasions. – 2019. – № 10 (2). – P. 178–180. Doi: 10.1134 / s 2075111719020115.
12. *Simakova, A. V.* Abundance of *Opisthorchis felineus* Metacercariae in cyprinid fish in the middle Ob River basin (Tomsk region, Russia) / A. V. Simakova, Chitnis N., Babkin A. M. [et al.] // Food and waterborne parasitology. – 2021. – Vol. 22. – P. 1–12.
13. *Simakova, A. V.* The role of non-commercial cyprinids in maintenance and spread of the opisthorchiasis focus in the middle Ob River basin (Tomsk region, Russia) / A. V. Simakova, A. M. Babkin, N. Chitnis [et al.] // Food and Waterborne Parasitology. – 2022. – Vol. 26. – P. 1–9.

СЕКЦИЯ 5. ТОВАРНОЕ РЫБОВОДСТВО И ВОПРОСЫ ИСКУССТВЕННОГО РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ

УДК 574.5

ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ РЫБ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ОБЬ

Е.А. Интересова
Новосибирский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ЗапСибНИРО»), Новосибирск, Россия
Томский государственный университет, Томск, Россия,
Interesovaea@yandex.ru

Аннотация. Биологические инвазии признаны одной из ведущих угроз биологическому разнообразию. В бассейне Оби отмечено 23 чужеродных вида рыб, из них к настоящему времени натурализовались лещ *Abramis brama,* уклейка *Alburnus alburnus,* сазан *Cyprinus carpio,* верховка *Leucaspius delineatus,* амурский чебачок *Pseudorasbora parva*, вьюн Никольского *Misgurnus nikolskyi* малая южная колюшка *Pungitius platygaster,* обыкновенный судак *Sander lucioperca* и ротан *Perccottus glenii*. Число натурализовавшихся чужеродных видов рыб уменьшается к северу и к югу бассейна р. Обь. Показатель успешности инвазии имеет статистически значимую отрицательную корреляцию с нижней пороговой температурой нереста и положительную с плодовитостью данных видов рыб. Таким образом, основным экологическим фактором, сдерживающим экспансию чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь, является температура воды, а успешность инвазии натурализовавшихся видов определяется, в первую очередь, нижним температурным порогом нереста вселенцев. Выявленная с использованием инструмента скрининга рисков инвазивности для водных видов значительность рисков вселения чужеродных видов рыб в бассейне Оби, диктует необходимость тщательной предварительной оценки возможных последствий при интенсификации рыбного хозяйства за счет введения интродуцентов.
Ключевые слова: р. Обь; биологические инвазии; акклиматизация; чужеродные виды; инвазионные виды; рыбы.

NON-NATIVE FISHES IN THE RIVER OB BASIN

E.A. Interesova

Novosibirsk branch of “VNIRO” (“ZapSibNIRO”), Novosibirsk, Russia
Tomsk State University, Tomsk, Russia,
Interesovaea@yandex.ru

Summary. Biological invasions are recognized as one of the leading threats to biodiversity. In the Ob basin, 23 alien fish species have been recorded. Currently, the common bream *Abramis brama,* bleak *Alburnus alburnus,* common carp *Cyprinus carpio,* sunbleak *Leucaspius delineatus,* topmouth gudgeon *Pseudorasbora parva,* Nikolsky’s loach *Misgurnus nikolskyi,* southern ninespine stickleback *Pungitius platygaster,* pikeperch *Sander lucioperca* and amur sleeper *Perccottus glenii* have naturalized. The number of naturalized non-native fish species decreases to the north and south of the Ob river basin. The invasion success rate has a statistically significant negative correlation with the lower threshold spawning temperature and a positive correlation with the fecundity of these fish species. Thus, the main environmental factor restraining the expansion of alien fish species in the Ob river basin is the water temperature. The

success of the invasion of naturalized species is determined, first of all, by the its lower temperature threshold for the spawning. The significant risks of the introduction of alien fish species in the Ob basin, identified using the screening tool for invasiveness risks for aquatic species, dictates the need for a thorough preliminary assessment of the possible consequences of intensifying fisheries through the introduction of introduced species.
Keywords: Ob; biological invasions; acclimatization; non-native species; alien species; invasive species; fish.

Расселение видов за пределы их исторических ареалов, получившее название «биологические инвазии», в настоящее время признано одной из важнейших угроз биологическому разнообразию. Чужеродные виды, в случае своей натурализации становясь частью сообществ живых организмов реципиентных экосистем, всегда оказывают на них воздействие. Иногда оно бывает значительным, часто – труднопредсказуемым. Выявлено, что чужеродные виды рыб могут оказывать влияние на аборигенные организмы путем хищничества, конкуренции, гибридизации, изменений среды и передачи заболеваний, в результате воздействуя на структуру и функционирование реципиентных экосистем. Вместе с тем, в последние годы, наряду с пониманием возможных экологических рисков при интродукции чужеродных видов гидробионтов, наметилась тенденция признания некоторого завышения их оценок, а также факта экономической ценности ряда акклиматизантов, которые становятся важным биологическим ресурсом в регионе вселения. Однако в целом биологические инвазии остаются в числе наиболее значимых экологических проблем.

Начало вселения чужеродных видов рыб в бассейн реки Оби с целою улучшения состояния водных биологических ресурсов в регионе было положено в середине 19 века с выпуска леща *Abramis brama* из бассейна р. Волга в пруды на р. Исеть. На сегодняшний день в Западной Сибири около 35 % пресноводных видов рыб являются чужеродными. Некоторые из них в настоящее время обеспечивают существенную долю общего объема добычи рыбы [28]. Другие вселенцы не имеют промыслового значения, однако численность их высока, при этом крайне мало известно об особенностях их биологии, механизмах расселения, значении в сообществах, факторах, способствующих успеху инвазии [11].

Целью настоящей работы является анализ данных об истории появления и современном распространении чужеродных видов рыб в бассейне реки Оби.

Материалы и методы

Материалом для настоящего исследования послужили сведения из научных публикаций, а также данные, накопленные автором. Для оценки результатов инвазии чужеродных видов рыб применили показатель «успешности инвазии» [11; 41]:

$$K_i = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 + p_7 + p_8 + p_9,$$

где p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9 – относительная численность (0 – не отмечен; 1 – известны случаи находок; 2 – обычный вид; 3 – многочисленный вид) в 9 районах бассейна р. Обь. Деление на районы приведено по Г. Л. Карасеву [37].

Результаты и обсуждение

Лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758). В бассейне р. Обь первая интродукция молоди данного вида, привезенной из р. Уфа, была осуществлена в 1862 г. в пруды в бассейне р. Исеть [17]. В течение XX века посадки в водоемы Зауралья, озера Обь-Иртышского междуречья, Усть-Каменогорское и Новосибирское водохранилища были неоднократными. С 1960-х годов лещ начал стремительно саморасселяться по бассейну,

быстро стал массовым и промысловым видом даже там, куда его не вселяли (Нижний Иртыш, Средняя и Нижняя Обь). В настоящее время это наиболее успешный и широко распространенный интродуцент в бассейне р. Обь, обитает от Телецкого озера до Обской губы и р. Таз (рис. 1). В большинстве мест обитания многочислен [8; 13].

Уклейка *Alburnus alburnus* (Linnaeus, 1758). Первое упоминание об уклейке из бассейна р. Обь было сделано Л.П. Сабанеевым [33], указавшим, что хотя в целом для Сибири этот вид не характерен, но изредка он отмечается на восточном склоне Урала в бассейне р. Тобол, куда попадает, вероятно, преодолевая водораздельные болота. Б.Г. Иоганзеном [15] обитание уклейки в Обском бассейне было взято под сомнение и с тех пор в списках видов рыб Сибири она не значилась. Однако с 1970-х годов уклейка известна в оз. Хорошее Карасукско-Бурлинской системы озер, куда, предположительно, была завезена вместе с молодью сазана во время работ по его акклиматизации. С 1990-х годов началось распространение данного вида в бассейне р. Обь. В настоящее время она обитает в Новосибирском водохранилище, выше и ниже его как в самой р. Обь, так и в ее притоках вплоть до р. Тым, а также в Верхнем Иртыше (рис. 1). Местами многочисленна [1; 14].

Пестрый толстолобик *Aristichthys nobilis* (Richardson, 1845). Впервые в бассейн р. Обь вселен в Новосибирское водохранилище в 1958 г. [17]. С 1980 г. его неоднократно выпускали в Беловское водохранилище, а также выращивают в садковом хозяйстве, расположенном в акватории этого водоема. Есть сведения о размножении пестрого толстолобика в Беловском водохранилище [4]. Нами при контрольных обловах в данном водоеме ранняя молодь этого вида не обнаружена. В настоящее время пестрого толстолобика выращивают в ряде рыбоводных хозяйств региона, откуда он, очевидно, попадает в естественные водные объекты (известны случаи поимки в реках Обь, Иня, Томь, Иртыш, Тобол) [26].

Белый амур *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844). Впервые в бассейн р. Обь вселен в Новосибирское водохранилище в 1958 г. [17]. С конца 1960-х годов его пытались акклиматизировать в Бухтарминском водохранилище, различных озерах Обь-Иртышского бассейна. С 1989 г. неоднократно выпускали в Беловское водохранилище, а также выращивают в садковом хозяйстве, расположенном в акватории этого водоема. Есть сведения о размножении белого амура в Беловском водохранилище [4]. Нами при контрольных обловах в данном водоеме ранняя молодь этого вида не обнаружена. С 1960-х годов по настоящее время белого амура широко используют в регионе как объект товарной аквакультуры. Из рыбоводных хозяйств он, очевидно, попадает в естественные водные объекты (известны случаи поимки в реках Обь, Иртыш, Томь, Новосибирском водохранилище) [11].

Сазан *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758. Первая интродукция в бассейне р. Обь была проведена в 1909–1910 гг. в озера Восточного Урала из р. Белая, но оказалась безрезультативной [16]. Дальнейшие работы по вселению сазана в оз. Зайсан, озера Обь-Иртышского междуречья, Алтайского края, Новосибирское водохранилище привели к его натурализации и последующему саморасселению в Иртыше, Верхней и Средней Оби, уральских притоках Нижней Оби (рис. 1). Однако высокой численности практически нигде не достигает [11].

Белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix* (Valenciennes, 1844). Впервые в бассейн р. Обь вселен в Новосибирское водохранилище в 1958 г. [17]. С 1980 г. неоднократно выпускали в Беловское водохранилище, а также выращивают в садковом хозяйстве, расположенном в акватории этого водоема. Есть сведения о размножении белого толстолобика в Беловском водохранилище [19]. Нами при контрольных обловах в данном водоеме ранняя молодь этого вида не обнаружена. В настоящее время белого толстолобика (и его гибрид с пестрым толстолобиком) выращивают в ряде рыбоводных хозяйств региона, откуда он попадает в естественные водные объекты (известны поимки в реках Обь, Томь, Иня, Иртыш) [26].

Верховка *Leucaspius delineatus* (Heckel, 1843). В бассейн р. Обь была случайно завезена в 1962 г. в пруды рыбопитомника «Зеркальный» вместе с карпом [22]. В настоящее время распространена в бассейне Верхней и Средней Оби, Верхнего и Среднего Иртыша (рис. 1). Везде, где отмечена – обычна или многочисленна [10; 29].

Черный амур *Mylopharyngodon piceus* (Richardson, 1845). В бассейн р. Обь молодь данного вида была выпущена в 1958 г. в Новосибирское водохранилище [17]. Сведений о последующих встречах черного амура в Обском бассейне нет.

Амурский чебачок *Pseudorasbora parva* (Temminck & Schlegel, 1846). В бассейне р. Обь впервые отмечен в 1972 г. в р. Ишим [35]. В настоящее время известен в бассейне р. Иртыш от р. Ишим вверх по течению вплоть до Бухтарминского водохранилища (рис. 1). Проникновение данного вида, вероятно, обусловлено строительством канала, связавшего в начале 1970-х годов р. Нура с р. Ишим [11].

Большеротый буффало *Ictiobus cyprinellus* (Valenciennes, 1844). В бассейн р. Обь выпускали в 1980-х годах в Бухтарминское [23] и Беловское водохранилища. Есть сведения о размножении большеротого буффало в последнем [19]. Нами при контрольных обловах в данном водоеме ранняя молодь этого вида не обнаружена. В настоящее время большеротого буффало выращивают в ряде рыбоводных хозяйств региона, откуда он, очевидно, попадает в естественные водные объекты (известны случаи поимки в Новосибирском водохранилище и Верхней Оби).

Черный буффало *Ictiobus niger* (Rafinesque, 1819). В бассейн р. Обь выпускали в 1980 г. в Беловское водохранилище [19]. Сведений о последующем обнаружении черного буффало в регионе нет.

Вьюн Никольского *Misgurnus nikolskyi* Vasil´eva, 2001. В бассейне р. Обь впервые отмечен в 2008 г. [12]. В настоящее время ареал вида расширяется[30], вьюн отмечен как пойменных, так и материковых водоемах в бассейне Верхней и Средней Оби от 54 до 56º северной широты (рис. 1). Численность не высока.

Канальный сомик *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818). В бассейн р. Обь впервые попал в 1980-х годах, в Троицкое водохранилище (бассейн р. Тобол), где натурализовался и в настоящее время в значительном количестве вылавливается рыбаками-любителями как в этом водоеме, так и ниже по течению р. Уй [20]. В 1992 г. канальный сомик был выпущен в Беловское водохранилище, также его до настоящего времени выращивают в садковом хозяйстве, расположенном в акватории этого водоема. Есть сведения о размножении канального сомика в Беловском водохранилище [19]. Нами при контрольных обловах в данном водоеме ранняя молодь этого вида не обнаружена.

Европейская корюшка *Osmerus eperlanus* (Linnaeus, 1758). В 1930-х годах вселяли в озера Южного Урала. В оз. Большой Кисегач (бассейн р. Исеть) она образовала самовоспроизводящуюся популяцию, существующую до настоящего времени [21].

Европейская ряпушка *Coregonus albula* (Linnaeus, 1758). В озера Зауралья вселяли с начала XX века [17]. В некоторых она прижилась и в настоящее время является промысловым видом. В 1930-х годах выпустили в Верхнечулымские озера. В оз. Инголь она образовала самовоспроизводящуюся популяцию, существующую до сих пор, хотя численность ее не высока [44]. Информации о поимке европейской ряпушки в самом Чулыме нет.

Байкальский омуль *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775). Вселяли в начале 1970-х годов в Верхнечулымские озера [27], озера Горного Алтая, однако натурализации нигде не произошло.

Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792). В бассейне р. Обь стали отмечать с начала 1970-х годов, после ее акклиматизации на Кольском полуострове [3; 18]. Однако о естественном воспроизводстве в бассейне р. Обь не известно.

Кета *Oncorhynchus keta* (Walbaum, 1792). Молодь была выпущена в р. Катунь в начале 1930-х годов [16]. Сведений о последующем обнаружении кеты в Обском бассейне нет.

Микижа *Parasalmo (Oncorhynchus) mykiss* (Walbaum, 1792). С начала XX века культивируют в рыбоводных хозяйствах на уральских притоках Иртыша и в бассейне Верхней Оби [16]. В начале 1970-х годов произведены выпуски микижи в ряд высокогорных озер Горного Алтая, относящихся к бассейнам оз. Телецкое и р. Катунь, число которых может достигать сотни [7]. В настоящее время выращивают в рыбоводных хозяйствах Урала, Хакассии, Алтайского и Красноярского краев, в Республике Алтай, Кемеровской, Томской и Новосибирской областях на водоемах, часто имеющих связь с речной сетью [32]. В результате микижа попадает в естественные водотоки. Имеются сведения о неконтролируемом расселении вида населением Горного Алтая. Однако убедительной информации о современном существовании самовоспроизводящейся популяции микижи в бассейне р. Обь нет.

Кумжа *Salmo trutta* Linnaeus, 1758. В бассейн р. Обь молодь данного вида, полученная из икры с Никольского рыбоводного завода, впервые была выпущена в 1891 г. в р. Кыштым (приток р. Исеть) [16]. Н.А. Варпаховский указывал [5], что этот вид обитает в горных речках и озерах верховьев Оби. Возможно, эти сведения связаны с первыми попытками интродукции данного вида в Горном Алтае. В 1966 г. ручьевую форель из Ропшинского питомника завезли в форелеводческое хозяйство «Урожайный», где впоследствии получили ее молодь. В 1974 г. кумжа была вселена в оз. Лебединое (Светлое) в бассейне р. Первая Кокша (приток второго порядка нижнего течения р. Катунь, Алтайский край), где образовала самовоспроизводящуюся популяцию, существующую до сих пор [32]. Имеются сведения об обитании кумжи в притоках р. Миасс и в Аргазинском водохранилище [24].

Малая южная колюшка *Pungitius platygaster* (Kessler, 1859). Впервые в бассейне р. Обь обнаружена в 1982 г. в р. Ишим [9]. В настоящее время известна также в р. Иртыш [35]. Её проникновение в бассейн р. Обь, вероятно, обусловлено строительством канала, связавшего в начале 1970-х годов р. Нура с р. Ишим [11].

Обыкновенный судак *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). В бассейне р. Обь работы по акклиматизации данного вида ведут с 1950-х годов [17]. Его вселяли в водоемы Зауралья, Обь-Иртышского междуречья, Усть-Каменогорское, Бухтарминское, Новосибирское водохранилища. К настоящему времени произошло саморасселение судака, он обитает от верховьев Оби и Иртыша и их притоков вплоть до Обской и Тазовской губы (рис. 1). Однако относительно высокая численность данного вида наблюдается только в крупных водохранилищах [36].

Ротан *Perccottus glenii* Dybowski, 1877. В бассейне р. Обь впервые отмечен в середине 1970-х годов в оз. Песчаное – бассейн р. Тобол [31]. В настоящее время известен в бассейне Иртыша, Верхней и Средней Оби, пойменной системе Нижней Оби (рис. 1). В большинстве мест обитания многочислен [29; 34].

Кроме того предполагается, что в настоящее время на юге Западной Сибири происходит замещение аборигенного серебряного карася *Carassius gibelio* его амурской формой, вселенной в озера Обь-Иртышского междуречья в 1970-х годах. Наши исследования полиморфизма фрагмента контрольного района мтДНК серебряного карася показали наличие в Средней Оби рыб с гаплотипами, характерными для дальневосточных популяций, что может свидетельствовать о процессах замещения автохтонных форм интродуцированными [6].

Таким образом, в настоящее время в бассейне р. Обь отмечено 23 чужеродных вида рыб. В настоящее время в естественных водоемах и водотоках бассейна можно встретить 19 видов (попытки вселения кеты *Oncorhynchus keta,* байкальского омуля *Coregonus migratorius,* черного буффало *Ictiobus niger* и черного амура *Mylopharyngodon piceus* были неудачными). Из них для 2 видов (горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* и радужная форель *Parasalmo mykiss*) известны случаи поимки, но сведений об их естественном воспроизводстве нет; 8 видов (пестрый толстолобик *Aristichthys nobilis,* белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix,* белый амур *Ctenopharyngodon idella,*

большеротый буффало *Ictiobus cyprinellus,* канальный сомик *Ictalurus punctatus,* ручьевая форель *Salmo trutta,* европейская ряпушка *Coregonus albula* и европейская корюшка *Osmerus eperlanus*), вероятно, образовали локальные самовоспроизводящиеся популяции, но не начали саморасселение; и 9 видов (лещ *Abramis brama,* уклейка *Alburnus alburnus,* сазан *Cyprinus carpio,* верховка *Leucaspius delineatus,* амурский чебачок *Pseudorasbora parva*, вьюн Никольского *Misgurnus nikolskyi* малая южная колюшка *Pungitius platygaster,* обыкновенный судак *Sander lucioperca* и ротан *Perccottus glenii*) натурализовались.

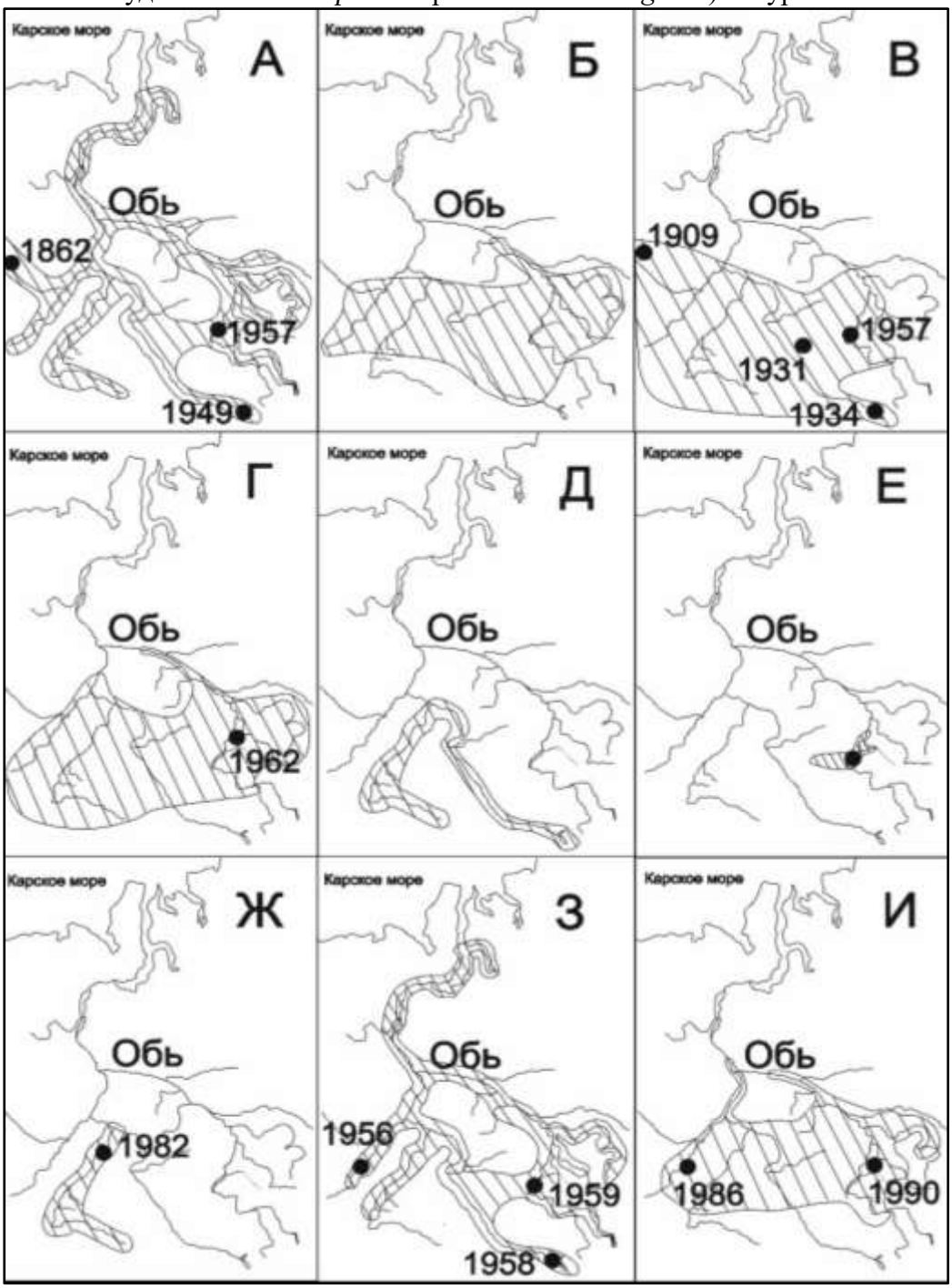


Рис. 1. Схема распространения натурализовавшихся чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь. А – лещ; Б – уклейка; В – сазан; Г – верховка; Д – амурский чебачок; Е – вьюн Никольского; Ж – малая южная колюшка; З – обыкновенный судак; И – ротан. Точками обозначены места первых находок (выпусков)

Большая часть из отмеченных в бассейне р. Обь чужеродных видов рыб – представители сем. Cyprinidae (41 %). Из натурализовавшихся видов большинство также

относится к этому семейству (рис. 2).

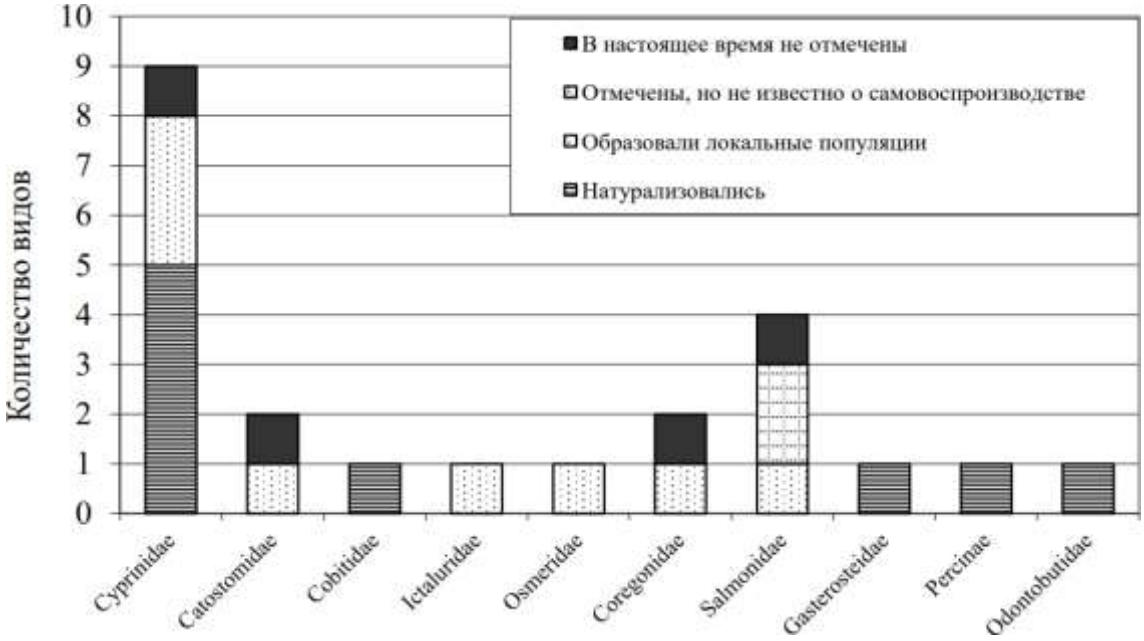


Рис. 2. Натурализация в бассейне р. Обь видов рыб из различных семейств

Вселенцы преимущественно происходят из двух регионов-доноров: 41 % из Европы и 32 % из Восточной Азии (рис. 3).

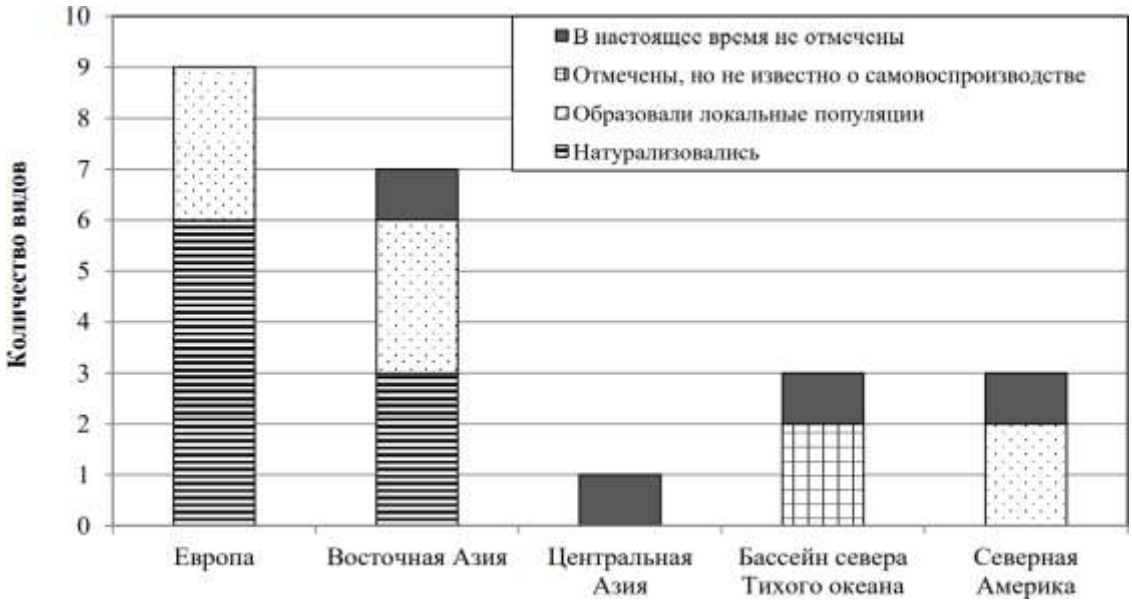


Рис. 3. Натурализация в бассейне р. Обь видов рыб из различных регионов

Наиболее успешными оказались представители понтического пресноводного фаунистического комплекса – 100 % попавших в регион видов образовали самовоспроизводящиеся популяции в естественных водоемах и начали саморасселение. Ни один из интродуцировавшихся представителей бореального предгорного и арктического пресноводного фаунистических комплексов в бассейне Оби не натурализовался (рис. 4).

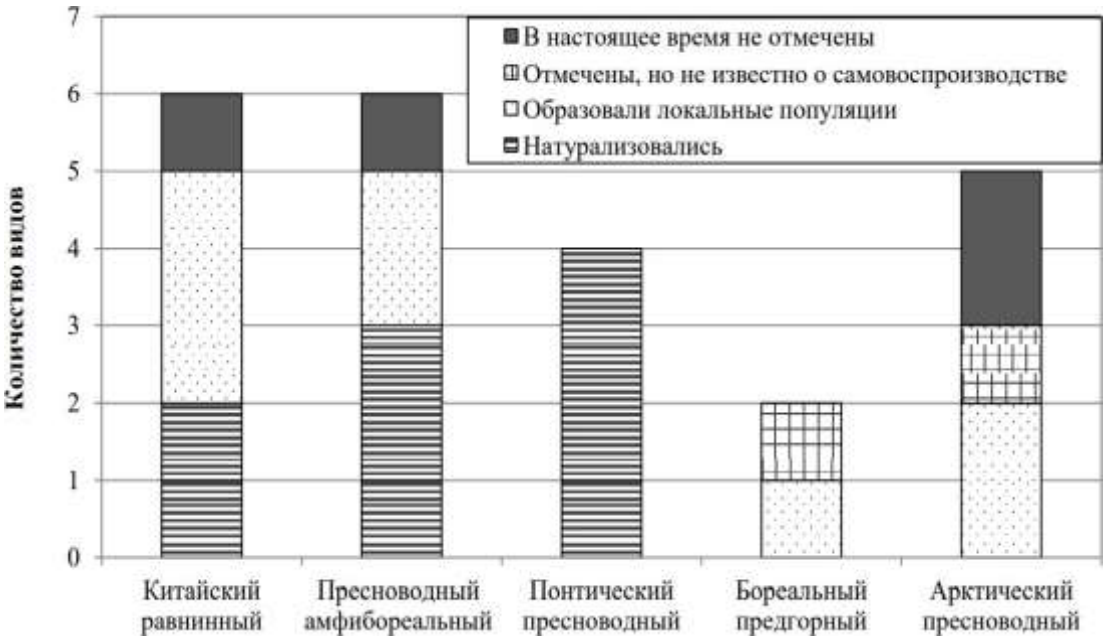


Рис. 4. Натурализация в бассейне р. Обь видов рыб различных фаунистических комплексов.

Наиболее широко распространенных леща и судака многократно вселяли в различные водоемы в ходе плановых акклиматизационных работ. Однако неоднократно выпускали и не столь распространенные виды, например сазана. Таким образом, количество интродукций само по себе не является определяющим для успешности экспансии видов.

Лещ и судак (наиболее широко распространившиеся виды) – обитатели преимущественно крупных рек и озер. Менее широко распространенные виды (верховка, вьюн Никольского) предпочитают небольшие водоемы, медленнотекущие и стоячие воды [29]. Для Нижне-Обского участка бассейна характерно обилие пойменных озер и стариц, однако присутствие верховки и вьюна в данном районе не отмечено.

Основным лимитирующим фактором для гидробионтов в бассейне р. Обь принято считать дефицит растворенного в воде кислорода в зимний период. Однако более чувствительные к содержанию кислорода в воде лещ и судак распространены значительно шире, чем менее чувствительные вьюн и ротан.

Биомасса зоопланктона, бентоса и рыб в целом возрастает вниз по течению р. Обь [2; 25; 27]. Поскольку среди начавших саморасселение в бассейне р. Обь вселенцев нет фитопланктофагов и растительноядных видов рыб, то недостаток в корме не может являться сдерживающим фактором.

Считается, что успеху интродукции способствует раннее созревание и высокая плодовитость видов [43]. Нами статистически значимая связь успешности инвазии выявлена только с плодовитостью (**r_s = 0.70)**, тогда как сроки первого нереста, а также количество икрометаний за сезон существенного влияния на распространенность чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь не оказывают [41]. При этом успешность инвазии имеет статистически значимую отрицательную корреляцию с минимальной известной температурой нереста начавших саморасселение чужеродных видов рыб (**r_s = -0.88**) (табл.). Поскольку р. Обь имеет большую протяженность с юга на север и, соответственно, среднемесячная температура воды существенно снижается вниз по течению, очевидно, что чем ниже температурный порог нереста, тем дальше на север может продвинуться вид. Таким образом, минимальная температура, пригодная для воспроизводства конкретного вида рыб, является одной из ведущих характеристик,

определяющих успешность его интродукции в бассейне р. Обь [11].

Таблица. Связь успешности инвазии чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь с некоторыми особенностями их биологии

Вид	Присутствие вида в различных районах Обского бассейна									Успешность инвазии	Особенности размножения (Атлас…, 2002; Попов, 2007; Froese, Pauly, 2019, собственные данные)			
	Горно-Иртышский	Верхне-Иртышский	Средне-Иртышский	Нижне-Иртышский	Горно-Обской	Верхне-Обской	Средне-Обской	Нижнее-Обской	Приморско-Обской		Минимальная известная температура нереста, °С	Абсолютная плодовитость, в среднем, тыс.	Количество икрометаний за сезон	Возраст созревания
Обыкновенный судак	2	2	2	2	1	2	2	1	1	15	8	628	1	2
Лещ	2	3	3	3	1	3	3	2	1	21	10	144	1	3
Сазан	2	2	1	0	0	2	1	0	0	8	16	490	2	3
Верховка	0	2	2	1	0	2	2	0	0	9	15	2.3	2	1
Уклейка	0	2	2	2	0	2	2	0	0	10	15	7	2	2
Амурский чебачок	2	3	2	0	0	0	0	0	0	7	15	1.4	2	1
Ротан	0	2	2	2	0	2	2	1	0	11	15	4.1	2	2
Вьюн Никольского	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	19	2.3	1	2
Малая южная колюшка	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	16	0.4	2	1
Коэффициент корреляции Спирмена успешности инвазии с особенностями размножения											-0.883*	0.703*	-0.274	0.472

Примечание: 0 – не известен; 1– известны случаи находок; 2 – обычный вид; 3 – многочисленный вид; * – $p < 0.05$

Известно, что неогеновая ихтиофауна на территории Сибири включала такие роды как *Abramis, Gymnocephalus (Acerina), Acipencer, Alburnus, Blicca, Chondrostoma, Coregonus, Esox, Gobio, Leuciscus, Sander (Lucioperca), Perca, Pungitius, Rutilus, Scardinius, Silurus, Tinca* [38]. Возможно, успешность интродукции леща, обыкновенного судака и уклейки определена освоением ими своих доледниковых ареалов. Это позволяет предполагать возможность натурализации таких видов, как белоглазка *Abramis sapa,* густера *Blicca bjoerkna,* волжский подуст *Chondrostoma variabile,* голавль *Leuciscus cephalus,* красноперка *Scardinius erythrophthalmus* и европейский сом *Silurus glanis* в случае проникновения их в Обской бассейн. Однако, конечно, это не исключает натурализацию иных родов рыб.

Оценка рисков вселения чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь с использованием инструмента скрининга рисков инвазивности для водных видов «The Aquatic Species Invasiveness Screening Kit» (AS-ISK), проведенная не только для отмеченных в регионе 23 видов рыб, но и видов, известных как инвазивные, при этом востребованных рыбоводными предприятиями региона (черный сомик *Ameiurus melas,* коричневый сомик *A. nebulosus*, американская палия *Salvelinus fontinalis* и озерный голец *Salvelinus namaycush*); а также входящих в ассортимент зоомагазинов (гамбузия хольбрукская *Gambusia holbrooki* и амурский вьюн *Misgurnus anguillicaudatus*); или чей ареал охватывает соседние речные бассейны (жерех *Leuciscus aspius,* красноперка *Scardinius erythrophthalmus* и голавль *Squalius cephalus*) показала, что 38 % видов следует отнести к категории высокого риска и 62 % − к категории среднего риска. Видов с низким уровнем риска не выявлено [42]. Кроме того отмечено, что из десяти пресноводных видов рыб, представляющих «очень высокий риск» инвазийности в мире [39], три (сазан, амурский чебачок и ротан) в настоящее время натурализовались в бассейне Оби. Учитывая происходящие в Западной Сибири изменения климата, следует предполагать увеличение значения чужеродных видов рыб в регионе, в первую очередь заключающегося в расширении их ареала [40].

Заключение

В настоящее время на территории Западной Сибири отмечено 23 чужеродных вида рыб, что составляет около 35 % ихтиофауны региона. Из них 9 видов натурализовались и начали саморасселение по бассейну Оби. Число натурализовавшихся чужеродных видов рыб уменьшается к северу и к югу бассейна р. Обь. Показатель успешности инвазии имеет статистически значимую отрицательную корреляцию с нижней пороговой температурой нереста и положительную с плодовитостью данных видов рыб. Таким образом, основным экологическим фактором, сдерживающим экспансию чужеродных видов рыб в бассейне р. Обь, является температура воды, а успешность инвазии натурализовавшихся видов определяется, в первую очередь, нижним температурным порогом нереста вселенцев.

Выявленная значительность рисков вселения чужеродных видов рыб требует тщательной предварительной оценки возможных последствий при интенсификации рыбного хозяйства за счет введения интродуцентов.

Список литературы

1. *Бабкина, И.Б.* Морфо-экологические особенности уклейки (*Alburnus alburnus (L.)*) Нижней Томи / И.Б. Бабкина, А.П. Петлина, А.С. Шестакова // Вестник ТГПУ. − 2013. − Т. 8 (136). − С. 61–69.

2. *Безматерных, Д. М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналит. обзор / Д. М. Безматерных // Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Ин-т вод. и экол. проблем. − Новосибирск, 2007. − 87 с.

3. *Богданов, В.Д.* Состояние рыбных ресурсов восточного склона Полярного и Приполярного Урала / В.Д. Богданов // Экономика региона. − 2007. − Вып.2. −С. 90–98.

4. *Бузмаков, Г.Т.* Прудовое рыбоводство / Г.Т. Бузмаков, Н.Н. Моисеев. Кемерово:

Кемеровское кн. изд-во, 1981. − 120 с.
5. *Варпаховский, Н. А*. Рыболовство в бассейне реки Обь: В 2 ч.: Репр. изд. 1898 (ч. 1) и 1902 (ч.2). – Тюмень, 2003. – 256 с.
6. Генетическая гетерогенность серебряного карася *Carassius gibelio* (Cyprinidae) в бассейне средней Оби / М. А. Побединцева, С. Н. Решетникова, Н. А. Сердюкова [и др.] // Генетика. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 429-436. – DOI 10.31857/S0016675821040111. – EDN KKXXCP.
7. *Голубцов, А.С.* Очерк ихтиофауны Республики Алтай: систематическое разнообразие, распространение и охрана / А.С. Голубцов, Н.П. Малков. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 164 с.
8. Динамика промысла леща *Abramis brama* в бассейне реки Оби как отражение успеха его акклиматизаци / Е. А. Интересова, В. Ф. Зайцев, В. А. Шаталин [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – Т. 17, № 10(213). – С. 661-674. – DOI 10.33920/sel-09-2310-02. – EDN RAFJTP.
9. *Зюганов, В.В.* О проникновении аральской колюшки в бассейн Оби / В.В. Зюганов // Вопросы ихтиологии. – 1984. – Т. 24. – Вып. 4. – С. 671–672.
10. *Интересова, Е.* А. Верховка *Leucaspius delineatus* (Cyprinidae) в водоёмах юга Западной Сибири / Е. А. Интересова // Вопросы ихтиологии. – 2012. – Т. 52, № 3. – С. 352-357. – EDN OXXNRT.
11. *Интересова, Е. А.* Новые виды водных биологических ресурсов (рыбы) в бассейне реки Обь : специальность 03.02.14 "Биологические ресурсы" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Интересова Елена Александровна. – Новосибирск, 2021. – 44 с. – EDN XZLXEF.
12. *Интересова, Е. А.* Находка вьюна Никольского *Misgurnus nikolskyi* (Cobitidae) на юге Западной Сибири / Е. А. Интересова, Е. Н. Ядренкина, Е. Д. Васильева // Вопросы ихтиологии. – 2010. – Т. 50, № 2. – С. 270-273. – EDN LOJIKH.
13. *Интересова, Е. А.* Современное состояние промыслового стада леща *Abramis brama* (L.) Средней Оби (в пределах Томской области) / Е. А. Интересова, А. А. Ростовцев // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2017. – Т. 4, № 3(15). – С. 12-19. – EDN XQBSDR.
14. *Интересова, Е. А.* К биологии уклейки *Alburnus alburnus* (Cyprinidae) реки Иня (юг Западной Сибири) / Е. А. Интересова, Р. М. Хакимов // Вопросы ихтиологии. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 225-227. – DOI 10.7868/S0042875215020101. – EDN TPWOBD.
15. *Иоганзен, Б.Г.* Этюды по географии и генезису ихтиофауны Сибири. II. Эколого-географический очерк рыб бассейна р.Обь / Б.Г. Иоганзен // Учен. зап. Томского ун-та. – 1947. – № 3. – С. 43–60.
16. *Иоганзен, Б.Г.* Акклиматизация рыб в Западной Сибири / Б.Г. Иоганзен, А.Н. Петкевич // Тр. Барабинского отд-ния ВНИОРХ. – 1951. – Т. 5. – С. 3–204.
17. *Иоганзен, Б.Г.* Новые рыбы Западной Сибири / Б.Г. Иоганзен, А.Н. Петкевич. – Новосибирск: Изд-во отдел. ВООП, 1961. – 52 с.
18. *Кижеватов, Я.А*. Динамика рыбных ресурсов р.Соби: Автореф. дис. … канд. биол. наук / Я.А. Кижеватов. – Екатерибург, 2010. – 18 с.
19. *Колосов, М.Ю.* Ихтиофауна Беловского района Кемеровской области / М.Ю. Колосов, Н.В. Скалон // Тр. Кузб. комплексной экспедиции. – Кемерово. – 2004. – Т. 1. – С. 290–297.
20. *Корляков, К.А.* Натурализация канального сома *Ictalurus punctatus* в Обь-Иртышском бассейне (водоём-охладитель Троицкой ГЭС) / К.А. Корляков, Е.М. Корлякова // Вестник Челябинского государственного университета. – 2013. –№7 (298). – Биология. – Вып. 2. – С. 173–174.
21. *Корляков, К.А*. О европейской корюшке *Osmerus eperlanus*, вселённой в озеро Большой Кисегач на Южном Урале / К.А. Корляков, И.С. Мухачев // Вопр. ихтиологии. – 2009. – Т. 49. – № 5. – С. 687–692.
22. *Кривощеков, Г.М.* Верховка в Западной Сибири / Г.М. Кривощеков // Водоемы

Сибири и перспективы их рыбохозяйственного использования. – Томск: Изд-во ТГУ, 1973. – С. 86–87.
23. *Куликов, Е.В.* Возможные последствия для рыбного хозяйства на Иртыше от увеличения забора воды в КНР / Е.В. Куликов // Известия Челябинского научного центра. – 2007. – Вып.4. – С. 55–58.
24. *Магазов, О.*А. Ихтиофауна водоемов Челябинской области / О.А. Магазов, В.В. Речкалов // Вест. Чел. гос. ун-та. Экология. – 2007. – № 6. – С. 85–87.
25. Обеспеченность пищей необходимых объемов искусственного воспроизводства осетровых и сиговых видов рыб в водных объектах Обь-Иртышского бассейна / А. К. Матковский, П. А. Кочетков, В. Б. Степанова [и др.] // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2017. – Т. 4, № 1(13). – С. 20-40. – EDN ZDQGBN.
26. Пестрый *Aristichthys nobilis* и белый *Hypophthalmichthys molitrix* толстолобики на юге Западной Сибири / Е. А. Интересова, В. А. Шаталин, А. В. Морозко [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2023. – Т. 17, № 9(212). – С. 570-582. – DOI 10.33920/SEL-09-2309-01. – EDN NNSMFM.
27. *Попков, В.К.* Морфо-экологические особенности и промысловое значение сиговых-акклиматизантов в озерах центральной части Алтайско-Саянского нагорья: Автореф. дис. … канд. биол. наук / В.К. Попков. – Ленинград, 1979. – 20 с.
28. Промысловое значение чужеродных видов рыб в водоемах юга Западной Сибири / Е. А. Интересова, А. А. Ростовцев, Е. В. Егоров [и др.] // Вестник рыбохозяйственной науки. – 2017. – Т. 4, № 2(14). – С. 36-44. – EDN ZXWAIB.
29. Пространственная организация населения рыб водоемов южной тайги Западной Сибири (в пределах Томской области) / Е. А. Интересова, А. А. Ростовцев, В. В. Сусляев [и др.] // Экология. – 2020. – № 2. – С. 125-133. – DOI 10.31857/S0367059720020031. – EDN ZYJTMK.
30. Расширение ареала вьюна Никольского *Misgurnus nikolskyi* (Cobitidae) на юге Западной Сибири / Е. А. Интересова, В. И. Романов, Г. И. Давлетшина [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 38-42. – DOI 10.35885/1996-1499-15-2-38-42. – EDN EHOWMS.
31. *Решетников, А.Н.* Распространение рыбы ротана (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) в бассейне р. Иртыш и анализ возможных последствий для природы и человека / А.Н. Решетников, Е.А. Чибилев // Сибирский экологический журнал. – 2009. – №16(3). – С. 405–411.
32. *Ростовцев, А. А*. Распространение форели в бассейне Верхней Оби / А. А. Ростовцев, В. И. Романов, Е. А. Интересова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2021. – № 6(185). – С. 32-41. – DOI 10.33920/sel09210603. – EDN WISWRA.
33. *Сабанеев, Л.П.* Рыбы России. 3-е изд. / Л.П. Сабанеев. – М., 1911. –1062 с.
34. *Сусляев, В. В*. Биология ротана *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 в водоемах южно-таежной зоны Западной Сибири / В. В. Сусляев, С. Н. Решетникова, Е. А. Интересова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 1(38). – С. 78-85. – EDN VVRLVX.
35. *Терентьева, Н.Н.* Эколого-рыбохозяйственное значение новых видов бассейна Оби / Н.Н. Терентьева, И.С. Мухачев // Тез. докл. IX Съезда Гидробиол. об-ва РАН. – Т. 2. – Тольятти, 2006. – С. 188.
36. Уловы, возраст и рост обыкновенного судака *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758) в бассейне Средней Оби / А. А. Ростовцев, Е. А. Интересова, И. Б. Бабкина [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 3(40). – С. 105-112. – EDN WVPICL.
37. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 596 с.
38. *Яковлев, В.Н.* Распространение пресноводных рыб неогена Голарктики и зоогеографическое районирование / В.Н. Яковлев // Вопр. ихтиологии. – 1961. – Т. 1. –

Вып. 2. – С. 209–220.
39. A global-scale screening of non-native aquatic organisms to identify potentially invasive species under current and future climate conditions / L. Vilizzi, G. H. Copp, J. Grabowska [et al.] // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 788. – P. 147868. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.147868. – EDN XSUSXO.
40. Impacts of environmental change on biodiversity and vegetation dynamics in Siberia / S. N. Kirpotin, A. M. Peregon, A. A. Byzaakay [et al.] // Ambio. – 2021. – Vol. 50. – DOI 10.1007/s13280-021-01570-6. – EDN WVERVV.
41. *Interesova, E. A.* Alien fish species in the Ob River basin / E. A. Interesova // Russian Journal of Biological Invasions. – 2016. – Vol. 7, No. 2. – P. 156-167. – DOI 10.1134/S2075111716020089. – EDN WVXPWV.
42. *Interesova, E.* Risk screening of the potential invasiveness of non-native freshwater fishes in the River Ob basin (West Siberian Plain, Russia) / E. Interesova, L. Vilizzi, G. H. Copp // Regional Environmental Change. – 2020. – Vol. 20, No. 2. – P. 64. – DOI 10.1007/s10113-020-01644-3. – EDN JKCEGX.
43. *Ricciardi, A.* Predicting the identity and impact of future biological invaders: a priority for aquatic resource management / A. Ricciardi, J.B. Rasmussen // Can. J. Fish. Aquat. Sci. − 1998. − №55. − P. 1759−1765.
44. *Romanov, V.I.* An Annotated list and current state of ichtyofauna of the Middle Ob river basin / V.I. Romanov, E.A. Interesova, Yu.V. Dyldin, I.B. Babkina, O.G. Karmanova, D.S. Vorobiev // International Journal of Environmental Studies (IJES). − 2017. − V. 74. − Issue: 05. − P. 818–830. doi:10.1080/00207233.2017.1288547.

УДК 639.3

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В САДКАХ

И.В. Каменев, А.Ю. Волкова
ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», г. Петрозаводск, Россия, vanya.kamenev.97@mail.ru

Аннотация. В статье представлены материалы морфометрической оценки радужной породы Камлоопс происхождения Финляндия и США, а также отечественной породы Адлер, выращенных в садках в Республике Карелия. Оценка исследуемых групп рыб проводилась по параметрам изменчивости основных морфометрических показателей. В результате работы было отмечено, что наибольшее различие между особями по исследуемым признакам наблюдалось в группе радужной форели из США, что позволяет использовать ее в селекционно-племенной работе. Группы радужной форели Камлоопс из Финляндии и рыбы породы Адлер имели низкий коэффициент изменчивости морфометрических показателей, однако использование этих групп для селекции возможно, так как все значения соответствуют особенностям высокопродуктивных групп радужной форели.
Ключевые слова: форель, породы, морфометрические показатели, изменчивость.

FEATURES OF VARIABILITY OF MORPHOMETRIC INDICATORS OF RAINBOW TROUT OF VARIOUS ORIGINS WHEN GROWN IN CAGES

I.V. Kamenev, A.Y. Volkova
Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia, vanya.kamenev.97@mail.ru

Summary. The article presents materials on a morphometric assessment of the rainbow Kamloops breed of origin in Finland and the USA, as well as the domestic Adler breed, grown in cages in the Republic of Karelia. The assessment of the studied groups of fish was carried out

according to the parameters of variability of the main morphometric parameters. As a result of the work, it was noted that the greatest difference between individuals in terms of the studied characteristics was observed in the group of rainbow trout from the USA, which allows its use in selection and breeding work. The groups of rainbow trout Kamloops from Finland and fish of the Adler breed had a low coefficient of variability of morphometric parameters, however, the use of these groups for selection is possible, since all values correspond to the characteristics of highly productive groups of rainbow trout.
Keywords: trout, breeds, morphometric indicators, variability.

В настоящее время в Республике Карелия наблюдается интенсивный рост аквакультуры, однако этот процесс значительно сдерживается отсутствием собственных ремонтно-маточных стад радужной форели (*Oncorhynchus mykiss irideus)* для обеспечения республики собственным рыбопосадочным материалом. На территории Карелии успешно выращивается радужная форель отечественного и импортного происхождения из Финляндии, США, Дании, Франции, Испании и Турции. Эти группы рыб выращиваются с разной эффективностью и имеют различную продуктивность, что очень важно учитывать при использовании их в селекционно-племенной работе. Стандартным методом оценки выращиваемых рыб является изучение основных рыбоводно-биологических показателей. Но при более качественном подходе в оценке исследуемых групп форели этой оценки явно недостаточно. Одним из возможных путей изучения продуктивности рыб в аквакультуре может быть анализ морфометрических показателей рыб. Эта методика позволяет оценить не только рыбоводно-биологические показатели, но и проводить более детальную оценку и делать выводы о перспективности форели разного происхождения для селекционно-племенной работы.

По морфометрической оценке, радужной форели было проведено множество исследований российскими и зарубежными учеными [1-2]. При этом отмечается, что морфометрические показатели производителей форели являются основными признаками при формировании ремонтно-маточных стад. Но в этих исследованиях удалятся не так много внимания межпородным группам и внутрипородным группам различного происхождения. Имеющиеся данные относятся в основном к исследованиям отечественных пород форели, а анализ морфометрических показателей форели импортного происхождения практически не проводился. В связи с этим была поставлена цель оценить уровень изменчивости морфометрических показателей радужной форели различного происхождения - породы Камлоопс из Финляндия и США, а также породы Адлер.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2023 году базе научно-исследовательского центра по аквакультуре ПетрГУ. Исследуемый материал был предоставлен форелевыми хозяйствами: ООО «ФХ Парола», ООО «Фишфорель», ООО «Карельские рыбные заводы».

Объектом исследования служили группы радужной форели породы Камлоопс происхождения Финляндия и США, а также отечественная порода Адлер. Исследовалось три группы форели, по 10 особей в каждой группе. Все морфометрические измерения проводились в соответствии с общепринятой методикой [3]. Измерялись следующие линейные показатели: зоологическая длина, длина по Смиту, промысловая длина, длина головы, высота тела и обхват тела. На основе морфометрических показателей рассчитывался коэффициент вариабельности (Cv). Для статистической обработки полученных данных использовалась программа Excel 2016 и методы вариационной статистики [4].

Результаты и их обсуждение

В период с 25 марта по 30 июня проводилась морфометрическая оценка групп радужной форели породы Камлоопс происхождения: Финляндия, США, а также порода Адлер. Суммарно было исследованию 30 особей, по 10 рыб каждой группе. В таблице 1 представлены результаты морфометрической оценки радужной форели трех исследуемых группах.

Таблица 1. Морфометрические показатели исследуемых групп радужной форели

Показатели	Адлер (n=10)		Финляндия (n=10)		США (n=10)	
	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv,%	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	Cv, %
Живая масса, г	1344,1±41,19	9,7	1668,7±70,56	13,4	2081,7±64,39	9,8
Зоологическая длина, см	44,91±0,64	4,5	46,4±0,75	5,1	48,3±0,93	6,1
Длина по Смиту, см	44,15±0,66	4,7	45,7±0,72	5,0	47,65±0,91	6,1
Промысловая длина, см	41,6±0,61	4,7	42,75±0,58	4,3	44,65±0,72	5,1
Длина головы, см	9,05±0,14	4,8	9,6±0,22	7,3	9,1±0,93	32,2
Обхват тела, см	28,7±0,52	5,8	32,2±0,5	5,6	36,9±1,27	10,9
Высота туловища, см	12,25±0,29	7,5	13,1±0,23	5,6	14,65±0,33	7,2

Оценка исследуемых групп радужной форели проводилась по параметрам изменчивости основных морфометрических показателей рыб. Она характеризует разнообразие признака в исследуемых группах. Чем выше изменчивость, тем разнообразней признак, если же коэффициент вариабельности (Cv) низкий, это говорит о незначительном разбросе значений признака и низкой его изменчивости. Анализируя исследуемые показатели можно сказать, что группа форели породы Адлер имела высокие значения изменчивости по живой массе и высоте туловища (Cv = 9,7 % и 7,5 %, соответственно), по остальным показателям разброс значений был незначительным. Радужная форель финского происхождения показала высокие значения вариабельности по живой массе и длине головы (Cv = 13,4 % и 7,3 %), остальные показатели имели низкий коэффициент (Cv < 7 %). В исследуемой группе форели из США разнообразие по пластическим признакам - живой массе, длине головы, обхвату тела и высоте туловища, было на высоком уровне (Cv = 7,2-32,2 %), остальные изменения показателей были незначительны (Cv < 7 %). Проанализировав все исследуемые группы можно сделать вывод, что форель происхождения США имела самый высокий коэффициент вариабельности по основным морфометрическим признакам за исключением живой массы (Cv = 9,8 %) и высоты туловища (Cv = 7,2 %), что характеризует высокое разнообразие значений исследуемых параметров в данной группе. Также стоит отметь наличие противоречивых данных у группы США по длине головы (Cv = 32,2 %). Это может быть обусловлено незначительными погрешностями при проведении измерений и требует дополнительных исследований. Полученные результаты были подтверждены исследованиями российских ученых при оценке морфометрических показателей радужной форели [2].

Выводы

Таким образом, оценка всех рыбоводных параметров показала, что наибольшее различие между особями по исследуемым признакам наблюдалось в группе радужной форели из США, что позволяет использовать ее в селекционно-племенной работе. Группы радужной форели Финляндия и Адлер имели низкий коэффициент изменчивости рыбоводных показателей, характерный для товарных групп, однако использование этих групп для селекции возможно, так как все показатели соответствуют нормативным значениям высокопродуктивных групп радужной форели.

Фининсирование. Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия

Список литературы

1. *Голод, В.М.* Селекционно-племенная работа с радужной форелью:метод, пособие / В.М. Голод, В.Я. Никандров, Е.Г. Терентьева и др. – СПб.: ГОСНИОРХ, 1995. – 29 с.
2. *Молчанова, К.А.* Определение морфометрических показателей радужной форели, выращиваемой в разнотипных рыбоводных хозяйствах. Калининград/ К.А. Молчанова, Е.И. Хрусталев// Известия КГТУ. – 2017. – № 44. – С. 38-45.
3. *Правдин, И. Ф.* Руководство по изучению рыб / И. Ф. Правдин. – Москва: Пищевая промышленность, 1966. – 96 с.
4. *Карманова, Е.П.* Генетические параметры признаков отбора сельскохозяйственных животных. Учебное пособие/ Е.П. Карманова, В.Е. Макарова, Л.Н. Муравья. – Петрозаводск. – 2003. -52 с.

УДК 597.442

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОБНОГО БЕЛКА И ВНЖК ПРИ КОРМЛЕНИИ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ

М.А Корентович, В.В. Бобров, А.Д. Батршина, П.А. Зенкович, В.Д. Капустин, А.И. Литвиненко

ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия, korentovichma@gausz.ru

Аннотация. В статье проанализированы результаты первых научно-производственных работ по включению ресурсосберегающего микробного белка (гаприна) в количестве 5 и 10 %, а также высоконенасыщенных жирных кислот (препарат-премикс «Арфит», льняное масло) в стартовые искусственные корма (фирма Coppens) для кормления личинок и молоди сибирской стерляди (*Acipenser ruthenus marsiglii* Brandt, 1869) иртышской популяции. Эксперименты проведены на полноцикловом рыбоводном предприятии Тюменской области, использующем замкнутую систему водоснабжения с технологической водой из артезианской скважины. Личинки получены от «икры» производителей из сформированного маточного стада и особей из естественной популяции. При введении в рацион личинок микробного протеина в количестве 10 % получены линейно-весовые показатели молоди, превышающие в 1,5-1,9 раз контрольную группу рыб. Использование гаприна и препарата «Арфит», начиная с четвертых суток экзогенного питания, позволило в 1,4 раза ускорить этап перевода личинок стерляди с живых кормов на искусственные, снизить элиминацию рыбы в 1,25 раз, уменьшить затраты корма в 2,9 раз по сравнению с контрольной группой рыб (коэффициенты оплаты корма 0,52 и 1,51 единиц соответственно). Внесение микробного белка в корм в количестве 5 % не оказало существенного влияния на темпы линейно-весового роста и выживаемость рыбы в опыте по сравнению с контролем. Предложены временные

биотехнологические нормативы по количеству (10 %) и срокам внесения (35-50 суток) микробной биомассы в стартовые искусственные корма.

Ключевые слова. Сибирская стерлядь; микробный белок (гаприн); «Арфит»; искусственные корма.

THE RESULTS OF THE USE MICROBIAL PROTEIN AND HUFA IN FEEDING JUVENILE STERLET IN INDUSTRIAL AQUACULTURE

M.A. Korentovich, V.V. Bobrov, A.D. Batrshina, P.A. Zenkovich, V.D. Kapustin, A.I. Litvinenko

State Agrarian University of the Northern Urals, Tyumen, Russia,
korentovichma@gausz.ru

Summery. The results of the first scientific and production work on the inclusion of resource-saving microbial protein (haprin) in the amount of 5 and 10 %, as well as highly unsaturated fatty acids (“Arfit” premix preparation, linseed oil) in the starting artificial feeds (Coppens) for feeding larvae and fry Siberian sterlet (*Acipenser ruthenus marsiglii* Brandt, 1869) of the Irtysh population were analyzed in the article. Experiments were carried out at a full-cycle fish-hatching enterprise in Tyumen region, using closed water supply system with technological water from an artesian well. Larvae are obtained from spawners "eggs" of formed mature stock and individuals from the natural population. When introducing microbial protein into the diet in amount of 10%, linear -weight indices of juveniles exceeding the control group of fish in 1.5-1.9 times were obtained. The use of haprin and “Arfit”, starting from the fourth day of exogenous nutrition, made it possible to accelerate the stage of transferring sterlet larvae from live feeds to artificial ones by 1,4 times, reduce fish elimination by 1.25 times and decrease feed conversion by 2,9 times compared to the control fish group (Feed Conversion Ratio was 0.52 and 1.51 units, respectively). The use of microbial protein into the feed in amount of 5% did not significantly affect the rate of fish linear-weight growth and survival in the experiment compared to the control. Temporary biotechnological standards for quantity (10%) and terms of use (35-50 days) microbial biomass into starting artificial feeds were proposed.

Keywords: Siberian sterlet; microbial protein (haprin); “Arfit”; artificial feeds.

Перевод личинок осетровых рыб на питание искусственным кормом, особенно особей, полученных от производителей из естественной среды обитания, уже многие годы остается одной из важнейших проблем индустриального осетроводства. Использование разработанных зарубежными и Российскими производителями сухих стартовых комбикормов для осетровых в первые недели подращивания приводит к их перерасходу и, соответственно, к увеличению коэффициентов оплаты корма (КОК).

Одним из наименее технологичных видов, адаптация к искусственному корму в период раннего онтогенеза у которого, как правило, сопровождается высокой элиминацией личинок и, соответственно, повышением кормовых затрат, является стерлядь иртышской популяции (*Acipenser ruthenus marsiglii* Brandt, 1869).

Возможны два пути решения проблемы получения жизнестойкой молоди: разработка новых рецептур искусственных кормов с учетом специфики данного вида; улучшение питательной привлекательности существующих сухих стартовых кормов.

Следует отметить, что производство комбикормов является довольно дорогим и трудоемким. В связи с этим, возникает потребность в более дешёвых компонентах, которые позволяют снизить стоимость кормов и при этом сохранить качество конечной продукции.

Примером такой альтернативы может быть использование сухой биомассы метанотрофных бактерий *Methylococcus capsulatus* в искусственных комбикормах [1, 2].

Эти бактерии выращивают на углеводородах природного газа, где в питательную среду вводятся неорганические минеральные и азотистые соли. Гаприн обладает высоким содержанием протеина (65-75 %), содержит большое количество нуклеиновых кислот, что обуславливает повышенную скорость роста и размножения микроорганизмов. Отличительная особенность его аминокислотного состава – это высокое содержание таких незаменимых кислот как фенилаланин, метионин и тирозин, что дает гаприну особые преимущества перед белками с дефицитом аминокислот. В состав гаприна входит значительное количество липидов, однако в нем отсутствуют высоконенасыщенные жирные кислоты (ВНЖК). В связи с этим, можно использовать в качестве добавок пробиотики и масла с высоким содержанием ВНЖК, например, препарат-премикс «Арфит» и льняное масло.

«Арфит» содержит витаминно-липидный комплекс-экстракт с антиоксидантом «Салар», полученным из цист рачка артемии, а так же растения-эндемики Алтая и Западной Сибири (фитосбор). Препарат включает не только комплекс незаменимых ВНЖК (Омега-3 и Омега-6), но в него входят более 70-ти химических элементов, в том числе, биологически активные вещества, витамины - А, Е, F, каротиноиды, сквален, производные холестерола, которые проявляют антибактериальные, антивирусные, противоопухолевые, антипаразитарные и иммуномодулирующие свойства. «Арфит» обладает высокой биодоступностью за счёт микронизации, безопасен, не токсичен и не вызывает привыкания. Благодаря антиоксиданту в своём составе, имеет пролонгированный срок хранения - до 4-х лет.

Льняное масло содержит достаточное количество жирных кислот семейств линоленовой (омега-3) и линолевой (омега-6), а также часть недостающих витаминов, таких как токоферолы (витамин Е) и фолиевая кислота.

Предыдущие исследования по использованию данных компонентов в качестве добавок в стартовые искусственные корма в период подращивания личинок сибирского осетра обской и енисейской популяций на рыбоводных предприятиях Западной и Восточной Сибири (2020-2022 гг.), а также молоди белоногой креветки *Penaeus vannamei* на рыбоводной ферме в КНР (2019 г.) показали повышение выживаемости гидробионтов (в 2,2-8,8 раз), ускорение темпов линейно-весового роста (в 1,4-3,1 раза), улучшение устойчивости к возбудителям заболеваний за счёт повышения иммунитета, значительное сокращение затрат корма (в 2,5-10,6 раз) [1-7, 10].

В ходе ранее проведенных научно-производственных работ по подращиванию личинок и молоди сибирского осетра были исследованы следующие концентрации гаприна в составе обогащающих смесей – 10, 15 и 20 %. Лучшие результаты получены при введении микробного белка в количестве 10 % [1, 6, 7, 10]. В то же время, не было изучено влияние гаприна на рыбоводно-биологические показатели молоди осетровых при содержании его в корме менее 10 %.

Цель исследований – проанализировать эффективность использования микробного белка в количестве 5 и 10 % и ВНЖК (препарат «Арфит», льняное масло) при кормлении личинок и молоди сибирской стерляди иртышской популяции, полученных от сформированного маточного стада и от особей естественной популяции (р. Иртыш).

После завершения испытательных работ по кормлению все подрощенные мальки средней массой 3,0 г были выпущены в водоемы Обь-Иртышского бассейна для пополнения численности природных популяций.

Материалы и методы

Экспериментальные работы проведены в мае – июле 2023 г. на рыбоводном полноцикловом предприятии ООО «Рыбное подворье», расположенном в 20-ти км от г. Тюмени (рис.1А). Рыбоводный комплекс использует 7 модулей с замкнутой системой водоснабжения (УЗВ) общим объёмом воды 450 м^3. Водоисточниками являются артезианская скважина глубиной 21 м и колодцы.

На территории хозяйства имеется пруд-отстойник площадью 700 м^2, глубиной 3,5 м, общим объемом воды 2450 м^3 (рис. 1Б). Наличие пруда позволяет проводить полную рециркуляцию воды в системе завода. Использованная вода после цехов попадает в отстойные колодцы, далее поступает в пруд, отстаивается и очищается посредством биоплато.

А

Б

Рис.1. А - Рыбоводное предприятие ООО «Рыбное подворье»;
Б – Пруд-накопитель; Тюменская обл., с. Червишево

Водообмен происходит один раз в сутки; подпитка составляет 10 % от общего объема; водопотребление - 50 м^3 в сутки; дебит не превышает 2 м^3/сутки. Основным способом очистки воды на ООО «Рыбное подворье» является барабанный фильтр фирмы Fishtehno, он механическим способом удаляет мелкие взвешенные вещества при помощи барабанного сетчатого микрофильтра. Все биофильтры имеют «кипящий слой» с биозагрузкой фирмы BIREMAX. Для дезинфекции воды на заводе установлены УФ-стерилизатор и озонатор фирмы «Эконау», рассчитанный на пропускную способность 10 г/м^3. Насыщение воды кислородом происходит с помощью сжиженного газа, находящегося в криогенных резервуарах объёмом 500 и 1000 м^3. Общая производственная мощность завода - 30 т товарной рыбы в год (стерлядь, форель).

Подращивание личинок стерляди проводили в двух вариантах:

Вариант 1. Личинки получены от сформированного маточного стада. Общее начальное количество - 90 000 особей; плотность посадки – 18 000 экз. на один лоток или 6,2 тыс. экз. /м^2. Площадь одного лотка – 2,9 м^2. Возраст личинок при переводе на внешнее питание – 9 суток, средняя начальная масса - 17±3 мг; продолжительность кормления – 53 суток.

Количество внесенного гаприна в корм составило 10 % (100 мг на 1 кг корма) (опыт АГ 10-МС). Количество препарата «Арфит» и льняного масла - 5 %. Опытное кормление проведено в двух-четырех повторностях.

Вариант 2. Личинки получены от икры производителей естественной популяции. Кормление 9-ти суточных личинок продолжалось 38 суток. Начальное количество рыбы – 90 000 экз., начальная средняя масса - 16±2 мг; плотность посадки – 18 000 экз. на лоток. Содержание микробного белка в опытах составило 5 % (опыт АГ 5-ДП) и 10 % (опыт АГ 10-ДП). Количество препарата «Арфит» и льняного масла – по 5 %. Опыты проводили в двух-четырех повторностях.

Кормление осуществляли по следующей схеме:

- первые-третьи сутки – внесение науплиусов артемии *Artemia parthenogenetica* от 6-ти (первые сутки) до 24-х раз в сутки; цисты заготовлены в водоемах Алтайского края, фирма-производитель – Artemia Coral; температура воды – 15,9 °С;

- 4-е сутки – кормление науплиусами – 22 раза/сутки; внесение искусственного корма, обогащенного (опыт) или без добавок (контроль) – 2 раза/сутки; производитель кормов - фирма Coppens, фракции 0,2-0,3 мм; температура воды – 16,2 °С;

- 5-24-е сутки – постепенный перевод с живых кормов на искусственные, замена двух кормлений науплиусами на сухие корма (опыт и контроль); режим внесения корма – от 24-х до 16-ти раз в сутки; фракции – 0,3-0,8 мм; температура воды – 16,2 – 17,7 °С;

- 25-53-и сутки (для второй партии – 25-38-е сутки) – кормление необогащенным и с пищевыми добавками стартовым искусственным кормом 12 раз в сутки; фракции – 0,8-1,2 мм; температура – 17,5-18,1 °С.

В течение периода подращивания каждые 3-5 суток проводили индивидуальное контрольное взвешивание особей (50-100 экз. в каждой группе рыб); осуществляли контроль за питанием, расчет суточных рационов и затрат корма. Анализировали удельную скорость весового роста, суточные приросты (абсолютный и относительный).

Два раза в сутки выполняли чистку лотков от остатков корма; подсчитывали отход личинок. Подращивание стерляди проводили до средней массы 3 г. Сортировку и пересадку крупной молоди в отдельные бассейны выполняли ежедневно, начиная с массы 0,8-1,2 г.

Содержание в технологической воде аммонийного азота, нитритов, нитратов, фосфатов, активную реакцию среды (pH) контролировали ежедневно. Измерение показателей температуры воды и растворенного кислорода выполняли с помощью термооксиметра «Самара-2» 2 раза в сутки. Уровень воды в лотках постепенно увеличивали с 10 до 30 см.

За сутки до выпуска молоди стерляди в естественный водоём во всех лотках (бассейнах) останавливали кормление, снижая температуру воды в течение двух суток с +18 до +15 °С.

Статистическую обработку собранного материала выполняли с помощью методов вариационной статистики, используя компьютерную программу Microsoft Excel.

Результаты исследований

Результаты подращивания личинок стерляди, полученных от производителей из *сформированного маточного стада,* показали следующее. Ускоренный переход личинок с живых кормов (накуплиусы артемии) на искусственные, обогащенные микробным белком в количестве 10 % и ВНЖК, наблюдали уже в первые сутки внесения комбикорма: число питающихся особей в опыте составило 85 %, в контроле – в 1,42 раза меньше (60 %).

В ходе проведения экспериментов выяснено, что при питании личинок стерляди искусственными кормами с добавлением микробного белка (10 %) и ВНЖК темп весового роста незначительно увеличивается на 4-е сутки кормления: масса личинок в опыте в 1,2 раза выше, чем в контроле – 16,05±2,44 мг и 18,66±3,12 мг соответственно (при уровне значимости $p \leq 0,01$).

Через две недели кормления обогащенными кормами средняя масса подрощенных личинок в опыте АГ 10-МС превышала массу личинок в контрольной группе в 1,49 раз, составив 298,3±78,5 мг и 200,0±98,5 мг соответственно. Индекс разнокачественности признака *Cv* у стерляди в опытных бассейнах был в 1,59 раз ниже, чем контрольных: 38,96 % и 61,86 % соответственно.

Наибольшее различие по скорости весового роста молоди отметили на 48-е сутки кормления: средняя масса мальков в опыте АГ10-МС была в 1,94 раз выше по сравнению с контролем – 3280,5±967,5 мг против 1692,0±701,2 мг (данные достоверны по критерию Т-Стьюдента при уровне значимости $p \leq 0,01$). Удельная скорость роста по массе C_w в опыте АГ 10-МС оставалась высокой весь период подращивания (0,13-0,22), достигнув своего максимума (0,27) в конце подращивания. Коэффициент вариабельности массы тела по мере весового роста мальков уменьшился до величины 12,46 % в опыте, т.е. изменчивость признака при кормлении стерляди обогащенными кормами с 10 % содержанием гаприна оказалась в 4,0 раза ниже, чем в контроле (49,86 %). Средний за период показатель *Cv* отличался в опытных и контрольных вариантах в 1,69 раз: в опыте – 27,2 %, в контроле – 45,9 %.

Линейный рост молоди увеличивался менее интенсивно, чем весовой. В возрасте 57-ми суток на 48-е сутки кормления мальки в контроле достигли длины 7,36±0,87 см, в опыте АГ 10-МС – 8,89±0,92 см. Таким образом, при кормлении стерляди искусственными кормами с высоким содержанием микробного белка наблюдали увеличение длины тела в 1,2 раза по сравнению с контролем (при уровне значимости $p \leq 0{,}01$). Коэффициент изменчивости признака *Cv* за период подращивания личинок в контрольных группах в 1,6-1,8 раз превышал опыт (5,1 %). Наибольший разброс колебаний по длине тела отмечен в контроле у 58-ми суточных мальков (*Cv*=19,82 %).

Следует отметить, что выживаемость молоди весь период подращивания (53 суток) оставалась в опыте АГ 10-МС высокой (91,6 %), в контроле – в 1,25 раз ниже (73,3 %). Максимальная интенсивность суточного отхода отмечена в первые 16 суток кормления (до 0,9 % в контроле).

Затраты корма при использовании искусственных стартовых кормов, обогащенных микробной массой в количестве 10 %, составили 0,52 единицы. В контрольных группах значения коэффициента оплаты корма были в 2,9 раз выше (1,51 единиц). Рыбопродуктивность в конце подращивания в опыте увеличилась в 2,77 раз по сравнению с контролем – 5,23 и 1,89 кг/м^2 соответственно.

При подращивании личинок стерляди, полученных *от «диких» производителей из естественных популяций*, получены следующие результаты.

На 4-е сутки подращивания все особи в опытных бассейнах (АГ 5-ДП, АГ 10-ДП) перешли на питание науплиусами артемии с частичным внесением стартовых обогащенных кормов (2 раза в сутки). Количество личинок стерляди в контроле, перешедших на активное питание было в 1,2 раза меньше и составило 86,7 %.

Как и в предыдущем опыте (АГ 10-МС), отмечен ускоренный темп весового роста личинок при использовании гаприна в количестве 10 % (опыт АГ 10-ДП) – в конце подращивания масса мальков в опыте превышала этот показатель рыб из контрольных лотков в 1,49 раз, 1007,7±56,5 мг и 683,7±63,1 мг соответственно (по критерию Т-Стьюдента данные достоверны при уровне значимости $p \leq 0{,}01$).

Внесение в рацион кормления личинок микробного белка в количестве 5 % (АГ 5-ДП) повлияло на темп весового роста стерляди не столь существенно, как использование концентрации в 10 % (АГ 10-ДП). Средняя масса подрощенных личинок в опыте превышала контроль в 1,19 раз и составила 835,7±58,5 мг.

Сравнительный анализ темпов весового роста стерляди в период раннего онтогенеза с помощью величины достоверности аппроксимации показал, что в обоих вариантах опыта и контроля существовала очень сильная, близкая к функциональной, положительная связь между массой личинок и их возрастом - коэффициент корреляции *r* находился в пределах от 0,992 до 0,996 (рис. 2).

Коэффициент разнокачественности *Cv* по массе тела варьировал в опытах АГ 5-ДП и АГ 10-ДП незначительно, составив, в среднем, за период подращивания 32,92 % и 32,16 % соответственно. В контроле индекс вариабельности был на 7,52 % выше, чем в опыте с 10 %-ным содержанием гаприна (39,68 %).

При использовании кормов, обогащенных пробиотиком «Арфит», льняным маслом и микробным белком в количестве 10 %, получены минимальные значения коэффициента оплаты корма – 0,57 единиц. В опыте АГ 5-ДП и в контроле эти показатели были в 2,1–2,3 раза выше – 1,18 и 1,29 единиц соответственно.

Максимальная рыбопродуктивность в конце подращивания мальков отмечена в опытных бассейнах при кормлении стерляди кормами с добавкой гаприна в количестве 10 %, превышающая контроль в 1,55 раза – 4,02 и 2,60 кг/м^2 соответственно.

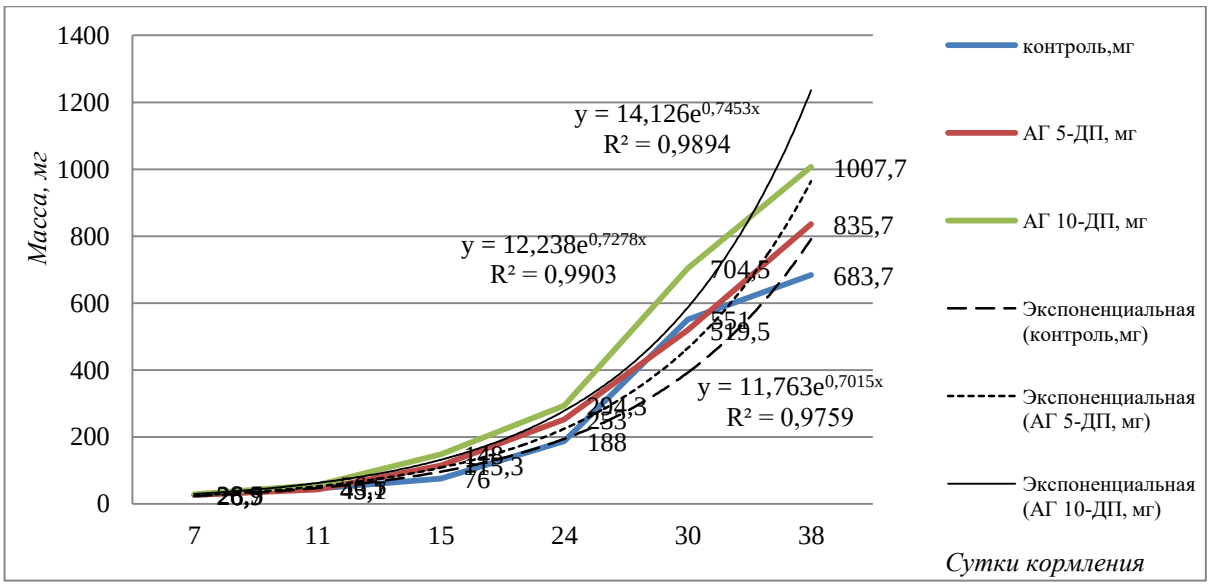


Рис. 2. Темпы весового роста личинок стерляди иртышской популяции при различных рационах кормления; ООО «Рыбное подворье», Тюменская область; май-июль, 2023 г.

Выживаемость личинок, полученных «от икры» производителей естественного происхождения, как в контроле, так и опытах была в 1,5-1,6 раз ниже, чем у особей стерляди из маточного стада. В контрольных группах рыб элиминация достигла 38,8 %, в опыте АГ 5-ДС – 41,3 %, в опыте АГ 10-ДП – 35,7 % (табл. 1).

Таблица 1. Результаты подращивания личинок стерляди с использованием сухих стартовых кормов, обогащенных микробным белком и ВНЖК; ООО «Рыбное подворье», Тюменская область; май-июль, 2023 г.

Происхождение личинок	Маточное стадо		Естественные популяции		
Показатели	Контроль	АГ 10-МС	Контроль	АГ 5-ДП	АГ 10-ДП
Масса личинок начал., мг	16±2	17±3	18±3	18±3	18±2
Масса молоди конечн., мг	1692±701	3281±968**	684±63	836±59**	1008±57**
Cv по массе тела, %	45,9	27,2	39,68	32,92	32,16
Cw, средняя за период	0,10	0,13	0,11	0,12	0,13
Период кормления, сутки	53	53	35	35	35
Отход молоди, %	26,7	8,4	38,8	41,3	35,7
Затраты корма, единиц	1,51	0,52	1,18	1,29	0,57
Рыбопродуктивность конечная, кг/м^2	1,89	5,23	2,60	3,05	4,02

** Данные достоверны при уровне значимости $p \leq 0,01$ по критерию Т-Стьюдента

Заключение

Впервые в России проведена серия экспериментальных работ, направленных на оптимизацию способов подращивания личинок стерляди, полученных как от сформированного маточного стада, так и от производителей естественного происхождения (р. Иртыш) с помощью стартового искусственного корма, обогащенного гаприном и препаратами с высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот («Арфит», льняное масло).

На основании проведённых научно-производственных исследований были выявлены оптимальные дозировки микробного белка в количестве 10 % с целью получения жизнестойкой молоди стерляди иртышской популяции в возрасте 43-57 суток при ускоренном темпе весового роста особей (в 1,5-1,9 раз выше контроля) и низких значениях коэффициента оплаты корма (0,52-0,57 единиц). Использование пищевых добавок позволило значительно снизить элиминацию личинок, полученных «от икры»

производителей из маточного стада (на 18,3 %). Следует отметить, что по всем рыбоводно-биологическим показателям результаты использования гаприна (10 %) и ВНЖК как пищевых добавок в стартовые комбикорма оказались на 6-15 % выше у подрощенной молоди стерляди из ремонтно-маточного стада.

Полученные результаты по количеству (10 %) и срокам внесения (35-50 суток) микробной биомассы в стартовые искусственные корма можно рекомендовать как временные биотехнологические нормативы для рыбоводных предприятий, занимающихся искусственным воспроизводством сибирской стерляди в целях товарного выращивания или выпуска жизнестойкой молоди средней массой 3,0 г в естественные водоемы.

Список литературы

1 *Зенкович, П.А.* Результаты кормления молоди сибирского осетра искусственными кормами, обогащенными микробным белком (гаприном) и жирными кислотами / П.А. Зенкович, М.А. Корентович // Сборник материалов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 115-летию агрономического факультета Донского ГАУ «Развитие аграрной науки и практики: состояние, проблемы и перспективы» 26 мая 2022 г., Персиановский, Россия. – 2022. – С. 207-214.

2 *Корентович, М. А.* Результаты использования препарата «АРФИТ» при выращивании молоди белоногой креветки *Penaeus vannamei* на частной рыбоводной ферме КНР / М. А. Корентович, В. А. Багаев, К. А. Жердев // Сборник материалов Международной конференции «Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания». Новосибирск. НГАУ. 2020. - С. 106-110. ISBN 978-5-94477-289-3.

3 *Литвиненко, П.А.* Использование биомассы метанокисляющих бактерий (гаприна) в аквакультуре / П.А. Литвиненко, М.А. Корентович // Сборник материалов LIV Студенческой научно-практической конференции, посвящённой памяти 75-летия Победы в Великой отечественной войне: Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения 19-20 марта 2020 г., Тюмень, Россия. – 2020. – С. 519-525. eLIBRARY ID: 43818697.

4 *Литвиненко, П.А.* Использование биомассы метанокисляющих бактерий (гаприна) в кормлении осетровых видов рыб / П.А. Литвиненко, М.А. Корентович // Сборник материалов LV Студенческой научно-практической конференции: Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения 17-19 марта 2021 г., Тюмень, Россия. – 2021. – С. 619-*625.*

5 *Литвиненко, П.А.* Результаты применения метанотрофных бактерий (гаприна) в рецептуре искусственных комбикормов при лечении сеголеток сибирского осетра от флавобактериоза / П.А. Литвиненко, М.А. Корентович // Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Ю.Ф. Юдичева «Актуальные вопросы и пути решения в ветеринарной медицине и животноводстве» 26-28 мая 2021 г., Тюмень, Россия. – 2021. – С. 49-53.

6 *Литвиненко, А.И.* Влияние инновационных стартовых кормов на темп роста и выживаемость молоди сибирского осетра в установках замкнутого водоснабжения / А.И. Литвиненко, М.А. Корентович, П.А. Зенкович, А.А. Гинзбург // Сборник трудов национальной научно-практической конференции «Интеграция науки и образования в аграрных вузах для обеспечения продовольственной безопасности России». ГАУ СЗ. 2022. – С. 58-64. ISBN 978-5-98346-109-3.

7 *Литвиненко, А.И.* Изменчивость ростовых характеристик молоди енисейского осетра при подращивании в УЗВ на обогащенных стартовых кормах / А.И. Литвиненко, М.А. Корентович, П.А. Зенкович, А.А. Гинзбург // Сборник трудов LIX

Студенческой научно-практической конференции «Успехи молодежной науки в агропромышленном комплексе». ГАУСЗ – 2022, - С. 147-152.

8 *Остроумова, И. Н.* Эффективность использования гаприна в рационах карпа разного возраста / И. Н. Остроумова, Д. С. Аршавский, В. К. Калкун, К. Б. Мосейчук, Л. В. Смирнова, Ю. О. Траубе // Сборник научных трудов ГосНИОРХ: Белковые продукты микробиосинтеза в кормлении рыб и другие вопросы интенсивного рыбоводства. СПб. Т. 306. 1991, 162 с. – С. 27-46.

9 *Остроумова, И. Н.* Влияние замены рыбной муки на высокобелковые соевые продукты и гаприн в кормах для сеголеток сиговых рыб / И. Н. Остроумова, В. В. Костюничев, А. А. Лютиков, А. К. Шумилина, Т. А. Филатова // Современное состояние водных биоресурсов: материалы 5-ой международной конференции. Новосибирск. 2019, 328 с. – С. 322-325.

10 *Zenkovich, P.A.* Experience of using dry biomass of methanotrophic bacteria in the enrichment of artificial feeds for siberian sturgeon juveniles of the Ob population / P.A. Zenkovich, M.A. Korentovich, T.O. Shabalina, A.I. Litvinenko, L.I. Litvinenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad, DAICRA 2021" 2022. С. 012136. DOI: 10.1088/1755-315/949/1/012136. License CC BY 3.0.

УДК 639.3.043.2:597.554.3

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ТЕМПЫ РОСТА СЕГОЛЕТОК КАРПА

С.В. Кузьмичева
Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок, Россия, e-mail:kuzmicheva.sv@ibiw.ru

Аннотация. Проведено экспериментальное исследование влияния различных кормовых добавок на темпы накопления массы и скорость роста сеголеток карпа. Четыре группы рыб рассадили в 400-литровые аквариумы по 190 особей. Контрольная группа (I) давали чистый корм, а опытным с добавлением разных препаратов: II – препарат «АКВАТАН», III– пробиотик «СУБ-ПРО», IV – антибактериальный препарат «Антибак-100». Оценку влияние препаратов на рыб исследовали по рыбохозяйственным показателям: среднесуточная скорость роста, абсолютный прирост, среднесуточный прирост и коэффициент массонакопления. По ходу опыта величины рыбохозяйственных показателей опытных карпов изменялись с различной интенсивностью. В конце эксперимента наиболее высокие показатели скорости роста и темпы массонакопления зафиксированы у рыб, которым добавляли в корм «Антибак-100», а наиболее низкие – «АКВАТАН».

Ключевые слова: сеголетки карпа, кормовая добавка «Акватан», пробиотик «СУБ-ПРО», антибактериальный препарат «Антибак-100», рыбохозяйственные показатели.

EFFECT OF DIFFERENT PREPARATIONS ON GROWTH RATES CARP JUVENILES

S.V. Kuzmicheva
Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia, e-mail:kuzmicheva.sv@ibiw.ru

Summary. An experimental study of the effect of various feed additives on the rate of mass accumulation and growth rate of carp segregated juveniles was carried out. Four groups of fish were planted in 400-liter aquariums with 190 individuals each. The control group (I) was given pure fodder, and the experimental group was given with the addition of different preparations: II - preparation "AQUATAN", III - probiotic "SUB-PRO", IV - antibacterial

preparation "Antibak-100". The effect of preparations on fish was evaluated by fishery indicators: average daily growth rate, absolute growth, average daily gain and mass accumulation coefficient. During the experiment the values of fishery indicators of experimental carps changed with different intensity. At the end of the experiment, the highest growth rate and mass accumulation rate were recorded in fish fed with "Antibak-100", and the lowest - with "AQUATAN".

Keywords: carp seglets, feed additive "Aquatan", probiotic "SUB-PRO", antibacterial preparation "Antibak-100", fishery parameters.

Аквакультура – надежный источник увеличения объемов пищевой рыбопродукции и служит гарантом продовольственной безопасности [2]. Один из основных объектов – обыкновенный карп *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). Это типичная пресноводная крупная рыба, объект промышленного лова и разведения в прудах. В настоящее время широко распространен и обитает во многих водоемах. Молодь сначала потребляет зоопланктон, а потом переходит на бентос. Взрослые рыбы питаются моллюсками, растительностью, личинками насекомых и др. Половой зрелости карп достигает в возрасте 3-5 лет. Нерест порционный, с конца апреля по август (в зависимости от широт) при температуре воды 16-20 ºС и выше [1]. По чешуйчатому покрову различают следующие типы карпа: чешуйчатые и зеркальные (разбросанные, линейные, голые или кожистые). По форме тела карпов делят на высокоспинных и широкоспинных [8].

В современной аквакультуре часто используют различные препараты. Для лечения используют антибактериальные препараты (антибиотики) [9], а для неспецифической иммунопрофилактики – различные пробиотики [3]. Исследования эффективности применения препаратов растительного происхождения показало усиление роста, иммунной активности, защиту от возбудителей различных заболеваний и повышение выживаемости рыб [4; 10; 11].

Цель исследований – изучение влияния различных препаратов на темпы накопления массы, скорость роста и выживаемость сеголетков карпа.

Материалы и методы

Исследования проводили в аквариальных условиях на сеголетках обыкновенного карпа в возрасте 4 месяца. Рыб разделили на 4 группы: контрольную и 3 опытных. Каждую группу по 190 особей рассадили в 400-литровые аквариумы. За время эксперимента температура воды колебалась от 19 до 21ºС., уровень pH 8.5. Карпов кормили 6 раз в сутки кормом Advance для рыб фирмы «Alltech Coppens» гранула размером 0,8-1,2 мм. Согласно данным производителя в состав этого вида корма входят белки (56%), жиры (15%), клетчатка (0,3%), зола (11,6%), фосфор (1,75%) и витамин А (14000 МЕ/кг). Контрольной группе (I) давали чистый корм, а опытным с добавлением разных препаратов: II – препарат «АКВАТАН» на основе эллаготанинов производства компании «Танин» г. Севница (Словения) из расчета 2 г/кг корма, III– пробиотик на основе *Bacillus subtilis* «СУБ-ПРО» (ООО «Вектор-Евро») из расчета 100 г/т корма, IV – антибактериальный препарат на основе ципрофлоксацина «Антибак-100» (ООО «НВЦ Агроветзащита»), из расчета 0,5г/кг живой массы рыб. Препараты в корм добавляли согласно инструкциям.

Взвешивание рыб проводили путем облова из всех бассейнов. По 30 особей из каждой группы сажали в ведро с водой с заранее известной массой и взвешивали с помощью весов марки M-ER 223AC-15.2 LED. За среднее значение массы 30 особей принималось среднее арифметическое по результатам трех взвешиваний. Далее высчитывали среднюю массу одной личинки.

Оценку влияние препаратов на темпы роста рыб исследовали по различным рыбохозяйственным показателям.

1. Среднесуточную скорость роста вычисляли по формуле сложных процентов:

$A = [(m_к / m_о)\ 1/t - 1] \times 100$ (%),

где $m_к$ и $m_о$ – масса рыбы в конце и в начале опыта; t – продолжительность опыта, сут.

2. Абсолютный прирост вычисляли по формуле:

$Р_{аб} = m_к - m_о$,

где $m_к$ – конечная масса испытуемых рыб, г;

$m_о$ – начальная масса молоди, г.

3. Среднесуточный прирост вычисляли по формуле:

$Р_{ср.сут.} = (m_к - m_о)/t$,

где $m_к$ – конечная масса рыб, г; $m_о$ – начальная масса молоди, г; t – продолжительность опыта, сут.

4. Для более точного определения скорости роста вычисляли коэффициент массонакопления:

$К_м=((М_к^{1/3}-М_о^{1/3})*3)/t$,

где $К_м$– общий продукционный коэффициент скорости роста;

$М_к$ и $М_о$ – конечная и начальная масса рыбы, г;

t – время выращивания, сут.

5. Выживаемость выражали в процентах от общего количества наблюдаемых рыб.

Результаты исследований и их обсуждение

Используемые в качестве кормовых добавок препараты оказали влияние на скорость роста и накопления массы опытных рыб (таблица). Зафиксированы отличия опытных групп от контрольной, и между разными опытными группами. За время эксперимента установлено, что величины рыбохозяйственных показателей в разных группах карпа изменялись с различной интенсивностью в зависимости от времени после начала опытного кормления. Обнаруженные в процессе эксперимента колебания исследуемых параметров, возможно, связаны с воздействием используемых препаратов на процессы пищеварения и усвоения корма сеголетками карпа.

На 10 сутки с начала эксперимента наиболее высокие рыбохозяйственные показатели отмечены у карпов 4 группы, а на 20 сутки у контрольных особей. Через месяц и на полтора месяца данные по абсолютному и среднесуточному приросту были выше у рыб 1-ой группы. Тогда как по среднесуточной скорости роста и коэффициенту массонакопления на 30 сутки у 4-ой группы, на 45 сутки у 3 группы.

В последующие сроки наблюдения, в том числе в конце опыта наиболее высокие исследуемые параметры фиксировали у карпов, которым добавляли в корм «Антибак-100». Высокие показатели рыб 4 группы подтверждают ранее полученные данные о положительном действие препарата «Антибак-100» на активность пищеварительных ферментов. Усиление протеолитической активности слизистой оболочки кишечника установлено на годовиках карпа *Cyprinus carpio* L. [7].

Во время эксперимента наиболее низкие исследуемые рыбохозяйственные параметры фиксировали у карпов 2-ой группы. Невысокие показатели темпа накопления массы и скорости роста по окончании опыта указывают на отсутствие положительного влияния препарата «АКВАТАН». Исследования эллаготанинов в основном проводили на лососевых видах рыб [5; 6] и, вероятно, полученные результаты связаны с неправильной дозировкой препарата при проведении эксперимента на сеголетках карпа.

В ходе эксперимента отмечено, что выживаемость сеголетков карпа в контроле составила 100%, а в опытных группах 2 (88,6%), 3 (100%) и 4 (96,2%). Можно сделать вывод, что используемые препараты не оказали существенного влияния на данный показатель. Однако стоит отметить более низкую выживаемость рыб, которым добавляли в корм «АКВАТАН».

Таблица. Показатели скорости роста и темпа накопления массы.

№ групп ы	Средний вес (перед началом опыта), г.	Рыбохозяйственные показатели			
		Среднесут. ск. роста	Абсолютн ый прирост	Среднесуточный прирост	Коэффициент массонакопления
	10 сут				
I	4,34 (3,45)	2,32	0,89	0,089	0,036
II	4,22 (3,42)	2,03	0,8	0,08	0,033
III	4,09 (3,35)	2,02	0,74	0,074	0,031
IV	4,54 (3,56)	2,46	0,98	0,098	0,039
	20 сут				
I	4,80 (3,45)	1,66	1,35	0,067	0,026
II	4,40 (3,42)	1,27	0,98	0,049	0,019
III	4,42 (3,35)	1,39	1,07	0,053	0,022
IV	4,88 (3,56)	1,59	0,92	0,046	0,025
	30 сут				
I	5,00 (3,45)	1,24	1,35	0,067	0,019
II	4,48 (3,42)	0,90	1,06	0,035	0,014
III	5,06 (3,35)	1,38	1,07	0,053	0,022
IV	5,46 (3,56)	1,43	0,92	0,046	0,023
	45 сут				
I	5,53 (3,45)	1,05	1,35	0,067	0,017
II	5,35 (3,42)	0,999	0,98	0,049	0,016
III	6,45 (3,35)	1,47	1,07	0,053	0,024
IV	6,52 (3,56)	1,35	0,92	0,046	0,023
	60 сут				
I	6,29 (3,45)	1,01	2,84	0,047	0,017
II	6,06 (3,42)	0,96	2,64	0,044	0,016
III	6,61 (3,35)	1,14	3,26	0,054	0,019
IV	7,65 (3,56)	1,28	4,09	0,068	0,022
	75 сут				
I	7,53 (3,45)	1,05	4,08	0,054	0,018
II	6,64 (3,42)	0,89	3,22	0,043	0,015
III	7,22 (3,35)	1,02	3,87	0,052	0,017
IV	8,44 (3,56)	1,16	4,88	0,065	0,02

Примечание. I – контроль, II – «АКВАТАН», III – «СУБ-ПРО», IV –«Антибак-100»

Выводы

Анализ полученных результатов показал отличия влияния исследуемых препаратов на скорость роста и темпы массонакопления у сеголеток карпа во время эксперимента. По мере развития организма наиболее положительное воздействие оказал препарат «Антибак-100».

Финансирование. Работа выполнена за счет средств гранта РНФ (проект № 22-26-20111).

Список литературы

1. Атлас пресноводных рыб России / Под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука, – 2002. – Т. 1. – 379 с.

2. *Богерук, А.К.* Аквакультура России: история и современность / А.К. Богерук // Рыбное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 14–18.

3. *Бурлаченко, И.В.* Перспективные пробиотики для осетровых рыб / И.В. Бурлаченко, Н.В. Судакова, Е.И. Балакириев, Д.А. Мордовцев, Е.В. Малик // Рыбное хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 64–65.

4. *Дегтярик, С.М.* Влияние растительных экстрактов на возбудителей аэромонозов и псевдомонозов рыб / С.М. Дегтярик, Е.И. Гребнева, Г.В. Слободницкая, Н.А. Бенецкая, Е.В. Максимьюк, А.В. Беспалый // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. – 2016. – № 32. – С. 249–261.

5. *Зеков, Д.Д.* Определение эффективных норм введения кормовой добавки Акватан в рацион радужной форели с биологической оценкой влияния на рыбохозяйственные показатели / Д.Д. Зеков, М.В. Ульянов, Д.В. Микряков, Т.А. Суворова // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2021. – № 11.– С. 66–77. DOI: 10.33920/sel09211106.

6. Использование эллаготанинов в рационах аквакультуры. [Электронный ресурс] – 2020 – URL: https://apknews.su/article/213/2594/ (дата обращения 04.08.2021).

7. *Кузьмина, В.В.* Влияние антибактериальных препаратов и пробиотиков на активность ферментов слизистой оболочки кишечника карпа *Cyprinuscarpio.* 2. Протеиназы / В.В. Кузьмина, Д.В. Микряков, М.В. Шалыгин, К.В. Гаврилин // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2011. – № 4. – С. 18–22.

8. *Моисеев, Н.Н.* Практикум по рыбоводству: Учеб. пособие / Н.Н. Моисеев, И.В. Морузи. Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск, 2010. – 70 с.

9. *Юхименко, Л.Н.* Лечебные и профилактические мероприятия против бактериозов в рыбоводстве / Л.Н. Юхименко, С.Б. Токарева, М.С. Кукин, Л.И. Бычкова // Ветеринария и кормление. – 2021. – № 6. – С. 67–69. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2021-6-18.

10. *Nya, E.J.* Use of garlic, *Allium sativum*, to control *Aeromonas hydrophila* infection in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) / E.J. Nya, B. Austin // J. Fish Diseases. – 2009. – V. 32 – No 11. – P. 963–970.

11. *Tkachenko, H.* The antibacterial activity of the ethanolic leaf extract of Ficus Pumilla L. (MORACEAE) against Fich Bacterial Patogens / H. Tkachenko, L. Buyun, O. Kasiyan, E. Terech-Majewska, Z. Osadowski // Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University. – 2018. – V. 45. – No 2 – P. 20–30.

УДК 597.552.512: 639.3.07:577.115.3+639.3.043

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИПИДОВ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ У РАЗНОРАЗМЕРНОЙ МОЛОДИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1972) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ КОМБИКОРМАХ

Д.И. Манойлова*, А.Е. Курицын, С.А. Мурзина**

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

**e-mail: dianamanoylova90@gmail.com*
***e-mail: murzina.svetlana@gmail.com*

Аннотация. Липиды являются биологическим показателем, отражающим реакцию организма на изменения внешних условий (трофический фактор), где они играют роль индикаторов физиологических изменений. Для эффективного и экономически выгодного подбора режимов кормления необходимо располагать сведениями о физиолого-биохимическом состоянии размерных групп форели на контрольных или референтных кормах, учитывая природно-климатические аспекты и условия выращивания. В работе установлены липидные и жирнокислотные профили разноразмерной радужной форели, выращиваемой на двух видах кормов в течение рутинного кормления и после 24 ч.

голодания в летне-осенний период в Северной Осетии-Алании, которые могут быть использованы в качестве референтных паттернов состояния рыб на уровне липидного обмена в условиях аквакультуры. Практическая значимость результатов работы состоит в их применимости для усовершенствования технологии выращивания радужной форели и получению высококачественной, экологически чистой и полезной рыбной продукции.
Ключевые слова: аквакультура; радужная форель; корм; липиды; жирные кислоты.

LIPID AND FATTY ACID COMPOSITION OF CERTAIN TISSUES OF SEVERAL SIZE GROUPS OF JUVENILE RAINBOW TROUT *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1972) REARED UNDER DIFFERENT FEEDS AT THE DAYLIGHT FEEDING MODE AND IN SEASONAL ASPECT

D.I. Manoilova, A.E. Kuritsyn, S.A. Murzina*

The Institute of Biology is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center "Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Petrozavodsk, Russia

Summary. Lipids are a biological indicator reflecting the response of the organism to changes in external conditions (trophic factor), where they play the role of indicators of physiological changes. For effective and cost-effective selection of feeding regimes, it is necessary to have information about the physiological and biochemical state of trout size groups on control or reference feeds, taking into account natural-climatic aspects and growing conditions. Lipid and fatty acid profiles of different-sized rainbow trout reared on two types of feeds during routine feeding and after 24 h of starvation in summer-autumn period in North Ossetia-Alania have been established, which can be used as reference patterns of fish condition at the level of lipid metabolism in aquaculture conditions. Practical significance of the results of the work consists in their applicability for improving the technology of rainbow trout farming and obtaining high-quality, ecologically clean and useful fish products.
Keywords: aquaculture, rainbow trout; feed; lipids; fatty acids.

Хозяйство лососевых рыб в России основывается на их естественном и искусственном воспроизводстве. Основное производство товарной продукции лососевых в России сосредоточено в Северо-Западном федеральном округе: лидирует – Мурманская область, далее следует Республика Карелия и Ленинградская область. Дополняет этот ряд, быстро развивающийся и перспективный регион для развития аквакультуры - Республика Северная Осетия-Алания. Такие виды как, а атлантический лосось (*Salmo salar* L.) и радужная форель (*Oncorhynchus mykis* Walbaum, 1792) в свою очередь, считаются премиальными, высоко востребованными потребителем.

Для эффективного и экономически выгодного подбора режимов кормления необходимо располагать сведениями о физиолого-биохимическом состоянии размерных групп форели на контрольных или референтных кормах, учитывая природно-климатические аспекты и условия выращивания. Липиды являются биологическим показателем, отражающим реакцию организма на изменения внешних условий (трофический фактор), где они играют роль индикаторов физиологических изменений. В рамках работы проведено изучение липидного и жирнокислотного состава и их динамики в мышцах радужной форели, выращиваемой в условиях аквакультуры с использованием двух видов кормов в течение суточного периода кормления и в сезонном аспекте. Настоящая работа является актуальной в области мирового направления развития науки и технологий - "Науки о жизни". В работе исследованы процессы роста и развития, функции и взаимосвязи при выращивании радужной форели в условиях аквакультуры. Результаты работы вносят вклад в реализацию плана мероприятий по обеспечению

продовольственной безопасности страны и перехода на рациональное агро- и аквахозяйство, защита экологии, безопасные продукты питания.

Материалы и методы

Радужная форель, выращиваемая на базе рыбохозяйственного предприятия Северной Осетии – Алании, являлась объектом исследования. Изучали сеголеток форели с различными размерно-весовыми характеристиками: размерная группа 1 (РГ1), в начале эксперимента имела среднюю массу 192г, размерная группа 2 (РГ2) – средняя масса 425 г. и размерная группа 3 (РГ3) – это самая крупная рыба, 1300-1400 г. Начало эксперимента происходило в первую неделю августа, а длительность его составляла 2 месяца (август и сентябрь). Кормление происходило разными видами коммерческих кормов (корм №1 и №2). Согласно заявленному составу комбикормов соотношение сырых протеина–жира–клетчатки в кормах составляло: для корма №1 - 40-43/24-27/1-2,9%; для корма №2 - 45/25/2,8% соответственно. Отметим, что в состав корма №2 производителем добавлен витаминный комплекс, включающий витамины А и Е, и соответственно, он был немного жирнее по количеству сырого жира. Отбор проб происходил в строгом временном промежутке: за 30 минут до первого кормления, через 30 минут после последнего кормления и за 24 часа голодания. Мышцы фиксировали в жидком азоте в сосуде Дьюара. Также для полноценной экстракции липидов была проведена гомогенизация тканей на гомогенизаторе OV-5 (Velp, Italy), а полученные образцы фиксировали в смеси хлороформ:метанола (2:1 по объему).

Липидный статус рыб оценивался по содержанию фосфолипидов (ФЛ) и их фракций - фосфатидилхолина (ФХ), фосфатидилэтаноламина (ФЭА), фосфатидилсерина (ФС), фосфатидилинозитола (ФИ), сфингомиелина (СФМ), лизофосфатидилхолина (ЛФХ), а также триацилглицеринов (ТАГ), диацилглицеринов (ДАГ), холестерина (ХС), эфиров холестерина (ЭХС) и свободных жирных кислот (СЖК) с помощью высокоэффективной тонкослойной жидкостной хроматографии [21]. С помощью метода газовой хроматографии анализировался состав жирных кислот общих липидов [22]. Обработка статистических данных была проведена в среде разработки R Studio (v. 4.2.2.) с применением дополнительных пакетов: “readxl” (v. 1.3.1), “tidyverse” (v. 1.3.0), “cowplot” (v. 1.1.1), “vegan” (v. 2.5–7), “pheatmap” (v. 1.0.12).

Исследования проведены на базе лаборатории экологической биохимии с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ “Карельский научный центр Российской академии наук”.

Результаты и обсуждение

У рыб, питающихся кормом №1, у РГ1 и РГ2 не установлено достоверных отличий динамики ОЛ в процессе кормления в том числе и при голодании, что свидетельствует свидетельствуют в пользу накормленности рыб в течение суток, а также отсутствие стресс-реакции на голодание. Показано достоверное снижение ОЛ у РГ3 до первого кормления. Отсутствует снижения ОЛ у рыб данной группы после голодания, что объясняется их компенсаторным ответом на отсутствие пищи, направленным на удержание ОЛ в кратковременно неблагоприятных условиях. Для корма №2, для всех исследованных размерных групп форели не установлено достоверных отличий содержания ОЛ в процессе кормления и после 24 ч. голодания, что демонстрирует общую накормленность рыб, не зависящую от комплекса обсуждаемых в эксперименте факторов.

Установлено, что в августе и сентябре качественный состав липидов у всех размерных групп форели не различался, при этом количество отдельных липидов варьировало как в пределах одной размерной группы в суточном аспекте кормления, так и в сезонно аспекте. У самой мелкоразмерной группы форели – РГ1 в августе, не установлено достоверных различий по всем исследованным липидным классам у рыб в режиме рутинного кормления, за исключением МАГ, которые были достоверно выше в период до первого кормления. Повышение МАГ является физиологическим индикатором

метаболических процессов, прежде всего связанным с катаболизмом липидов, их перевариванием и всасыванием в течение суток, а также отражающим состояние «голодания» перед первым кормлением. У этой же группировки рыб (РГ1), но в сентябре, а также РГ2 и РГ3 (в августе), то есть рыб от 700 до 1400 гр, выявлена общая реакция на голодание - повышение ЭХС и восков, то есть эти запаснике липиды активно вовлекались в процесс поддержания общего метаболизма и активности форели, а также характеризовали накромленность рыб. Важно отметить, что у РГ2 в сентябре, после голодания, работает другой механизм ответной реакции – снижение ЭХС и ТАГ. Эти запасные липиды участвуют в энергоемких процессах, в то время как константные липиды в форме общих ФЛ не принимают активного участия в компе6нсаторных процессах в ответ на кратковременное голодание.

Для рыб корма №2 показана такая же реакция на голодание, как и для корма №1. Повышение ЭХС и восков. Не наблюдается стресс реакции на голодание, а вот РГ3 в сентябре показывает снижение ТАГ. В данном случае, повышение ЭХС и восков, связано как с их синтезом за счет распада ТАГ, так и менее активным путем депонирования их из пищи.

Отдельно отметим, что уровень ОЛ сохраняет свое количественное содержание в период всего эксперимента, а количественное содержание липидных классов у исследованных групп форели варьирует за счет энергетических липидов, преимущественно, ЭХС, восков, ТАГ (у крупных особей) и частично (ХС), но содержание структурных липидов – ФЛ остается константным.

Общей характеристикой всех исследованных РГ форели является доминирование МНЖК, за счет 18:1 (n-9) – олеиновой кислоты, которая составляет до 60% в кормах. Установлено, что динамика содержания олеиновой кислоты сопоставима с таковой для ТАГ и ЭХС, жирнокислотной компонентой которых эта она является. Также, важным фактором является и то, что мышцы исключительно аккумулируют ЖК из пищи. Второе место по количественному содержанию занимают ПНЖК, это, в основном, эссенциальные ЖК, которые не синтезируются в организме в достаточном количестве и в основном поступают с пищей. Установлено доминирование (n-3)ПНЖК у самой мелкоразмерной группы (РГ1), за счет физиологически значимых 20:5(n-3) и 22:6(n-3) эйкозопентоеновой и декозокесаеновой кислот, которые селективно накапливаются у сеголеток в виду их особой роли в процессах роста и развития у молоди. У самой крупноразмерной рыбы выявлено доминирование (n-6)ПНЖК, за счет незаменимой 18:2(n-6) линолевой кислоты, содержание которой напрямую связано с ее количественной составляющей в комбикорме.
В пользу активного депонирования ЖК из корма свидетельствует повышенный уровень НЖК у рыб Корма 2, где 16:0 пальмитиновой кислоты было в 1.5 раза больше по сравнению с кормом № 1. Отметим, что индекс ненасыщенности (ΣПНЖК/ΣНЖК), у РГ1 был выше, чем у рыб РГ3 именно за счет большего количества ненасыщенных жирных кислот. Несмотря на различия в жирнокислотном составе исследованных РГ, значение индекса характеризующего метаболизм липидов (16:0/18:1(n-9) всегда оставался константным и был равен 0.4, что демонстрирует сохранение уровня липолитических процессов в пределах физиологической нормы каждой размерной группы в процессе кормления, в том числе в сезонном аспекте, а также полную зависимость «липидной компоненты» рыб от содержания таковых в пище.

Заключение

Липиды в организме позиционируются как фундаментальные компоненты, которые принимают участие в процессах роста и развития. Изучение липидного и жирнокислотного состава органов и тканей рыб имеет важное значение для создания и реализации программ устойчивого развития, повышения резистентности и поддержания жизнедеятельности ценных видов рыб, в том числе в условиях аквакультуры.

В ходе анализа липидного профиля и жирнокислотного состава тканей молоди радужной форели различных весовых характеристик на основе традиционной технологии выращивания, были показаны новые знания об адаптивном потенциале рыб, при их развитии в искусственных условиях, а также с учетом иной климатической зоны. Установлены липидные и жирнокислотные профили разноразмерной радужной форели, выращиваемой на двух видах кормов (корм № 1 и корм № 2) в течение рутинного кормления и после 24 ч. голодания в августе и сентябре, которые могут быть использованы в качестве референтных паттернов состояния рыб на уровне липидного обмена в условиях аквакультуры. Практическая значимость результатов работы состоит в их применимости для усовершенствования технологии выращивания радужной форели в условиях бассейнового выращивания для контроля процессов их роста и развития, повышения жизнестойкости к сочетанному действию факторов среды, что способствует получению высококачественной, экологически чистой и полезной пресноводной рыбной продукции в условиях аквакультуры.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН FMEN-2022-0006.

Список литературы

1. *Бахвалова, А. Е.* Динамика липидов и некоторых жирных кислот в мышцах трехиглой колюшки Белого моря при краткосрочном голодании и при разных режимах питания / А. Е. Бахвалова, С. А. Мурзина, В. П. Воронин, С. Н. Пеккоева, Т. Р. Руоколайнен, Д. Л. Лайус, Т. С. Иванова, Н. Н. Немова //Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2018. – №. 12. – С. 51-64. DOI:10.17076/EB924
2. *Богерук, А.* К. Рыбоводно-биологическая оценка продуктивных качеств племенных рыб / А.К. Богерук, Н.И. Маслова. – М.: ФГНУ Росинформагротех, 2002. 111-112 с.
3. Болгова О. М. К вопросу о роли жирных кислот в адаптациях рыб /О. М. Болгова //Теоретические аспекты экологической биохимии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1993. 73-78 с.
4. *Гладышев, М. И.* Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека //Журнал сибирского федерального университета. Биология. – 2012. – Т. 5. – №. 4. – С. 352-386. DOI: 10.31857/S0869813920050040
5. *Душкина, Л. А*. Биологические основы марикультуры / Л.А. Душкина, И. А. Садыхова, Е. И. Блинова. – М.: ВНИРО, 1998. – 295-316 с.
6. *Ленинджер, А.Л*. Основы биохимии: В 3 т //Пер. с анг. – 1985.
7. *Махутова, О. Н*. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты в физиологии и метаболизме рыб и человека: значение, потребности, источники / О.Н. Махутова, Гладышев М. И. // Российский физиологический журнал им. ИМ Сеченова. – 2020. – Т. 106. – №. 5. – С. 601–621. DOI: 10.31857/S0869813920050040
8. *Остроумова, И.Н.* Биологические основы кормления рыб. – М.: ГосНИОРХ, 2012. - 564 с.
9. *Привезенцев, Ю. А*. Рыбоводство / Ю. А. Привезенцев, А. П. Завьялов. – М.: ГАУ - МСХА им. К. А. Тимирязева, 2004. – 130 с.
10. *Титов, В. Н.* Жирные кислоты. Физическая химия, биология и медицина. / В.Н. Титов, Д.М. Лисицын. – М.: Триада, 2006. - 672 с.
11. *Ackman, R. G.* Marine biogenic lipids, fats and oils. – CRC press, 1989. – 504 p.
12. *Arduini, A.* High performance liquid chromatography of long-chain acylcarnitine and phospholipids in fatty acid turnover studies / A Arduini , A Peschechera, S Dottori, A F Sciarroni, F Serafini, M Calvani // Journal of Lipid Research. – 1996. – V. 37. – №. 3. – P. 684-689. DOI: 10.1016/j.tmrv.2003.10.003.
13. *Bernardi, G.* New comprehensive biochemistry. Biochemistry of lipids, lipoproteins and membranes / G. Bernardi. // Amsterdam: Elsevier, 1996. – V. 31. – P. 141–152.

14. *Bogevik, A. S.* Atlantic salmon (Salmo salar) postsmolts adapt lipid digestion according to elevated dietary wax esters from Calanus finmarchicus / A.S. Bogevik, D.R. Tocher, E. Langmyhr, R. Waagbo, R.E Olsen // Aquaculture nutrition. – 2009. – V. 15. – №. 1. – P. 94-103. DOI:10.1111/j.1365-2095.2008.00571.x

15. *Jostensen, J. P.* High prevalence of polyunsaturated-fatty-acid producing bacteria in arctic invertebrates / J. P. Jostensen, B. Landfald //FEMS Microbiology Letters. – 1997. – V. 151. – №. 1. – P. 95-101. DOI:10.1111/j.1365-2095.2008.00571.x

16. *Kamal-Eldin, A.* Minor components of fats and oils //Bailey's industrial oil and fat products. – 2005. DOI:10.1002/047167849X.bio012

17. *Kattner, G.* Seasonal variations of lipids (wax esters, fatty acids and alcohols) in calanoid copepods from the North Sea / G. Kattner, M. Krause // Marine Chemistry. – 1989. – V. 26. – №. 3. – P. 261-275. DOI: 10.1016/0304-4203(89)90007-8

18. *Kiessling, A.* Changes in fatty acid composition in muscle and adipose tissue of farmed rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) in relation to ration and age / A. Kiessling, J. Pickova, L. Johansson, E. Aasgaard, T. Storebakken, K-H Kiessling // Food Chemistry. – 2001. – V. 73. – №. 3. – P. 271-284. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00297-1

19. *Le Nocher,* A. M. Direct synthesis of sulfines by oxidation of enethiolizable thioketones / A. M Nocher, P.Metzner //Tetrahedron letters. – 1991. – V. 32. – №. 6. – P. 747-750. DOI:10.1002/chin.199151140

20. *Murzina, S. A.* Comparative analysis of lipids and fatty acids in beaked redfish Sebastes mentella Travin, 1951 collected in wild and in commercial products / S. A. Murzina, V.P Voronin, T.R. Ruokolainen, D.V. Artemenkov, A.M. Orlov // Journal of Marine Science and Engineering. – 2022. – V. 10. – №. 1. – P. 59. DOI:10.3390/jmse10010059

21. *Murzina, S.* A. Phospholipid composition of fingerlings of atlantic salmon during growth and development in aquaculture: the effect of different lighting and feeding regimes / S. A. Murzina, D. S. Provotorov, V. P. Voronin, D. I. Manoilova, A. E. Kuritcyn, S. N. Pekkoeva, N. N. Nemova //Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o žizni. – 2023. – V. 509. – №. 1. – C. 181-185. DOI: 10.1134/S160767292370014X

22. *Murzina, S. A.* The Effects of Low-Level Helium–Neon (He–Ne) Laser Irradiation on Lipids and Fatty Acids, and the Activity of Energetic Metabolism Enzymes and Proteome in the Blastula Stage and Underyearlings of the Atlantic Salmon Salmo salar: A Novel Approach in Salmonid Restoration Procedures in the North / S.A Murzina, V.P Voronin, M.V Churova, T.R Ruokolainen, N.S. Shulgina, D.S Provotorov, N.N Nemova, O.V Tikhonova //Biomolecules. – 2022. – V. 12. – №. 1. – P. 133. DOI: 10.3390/biom12010133

23. *Sargent, J. R.* Requirement criteria for essential fatty acids / J. R. Sargent, J.G. Bell, M.V. Bell, R.J. Henderson, D.R. Tocher //Journal of applied Ichthyology. – 1995. – V. 11. – №. 3/4. – P. 183-198. DOI:10.1111/j.1439-0426.1995.tb00018.x

24. *Stubhaug, I.* Fatty acid metabolism in Atlantic salmon (Salmo salar L.) hepatocytes and influence of dietary vegetable oil / I. Stubhaug, D.R. Tocher, J. G. Bell, J.R. Dick, B. E. Torstensen //Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids. – 2005. – V. 1734. – №. 3. – P. 277-288. DOI: 10.1016/j.bbalip.2005.04.003

25. *Tacon, A. G.* Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective //Aquatic Resources, Culture and Development. – 2004. – V. 1. – №. 1. – P. 3-14. DOI:10.1079/ARC2004005

26. *Torstensen, B. E.* Tailoring of Atlantic salmon (Salmo salar L.) flesh lipid composition and sensory quality by replacing fish oil with a vegetable oil blend / B. E. Torstensen, J. G. Bell, G. Rosenlund, R. J. Henderson, I. E. Graff, D. R. Tocher, O. Lie, J. R. Sargent //Journal of agricultural and food chemistry. – 2005. – V. 53. – №. 26. – P. 10166-10178. DOI:10.1021/jf051308i

УДК 639.3.043

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОБИОТИКОВ В АКВАКУЛЬТУРЕ

И.В.Морузи [1], Е.В.Пищенко [1], Г.В.Калмыкова [2], Г.А. Ноздрин[1] С.В., Севастеев [1], А.И.Михайлов[1], Д.В.Кропачев [1], П.В.Белоусов [1], Н.Н.[1]Разоков, Е.А., Елисеева [1]
Новосибирский государственный аграрный университет[1], Новосибирск, Россия
ООО «МИКОПРО»[2] Новосибирск, Россия

Аннотация. Разведение рыбы с применением различных технологий развивается в мире все шире. Это связано с повышением потребности человечества в пище в связи с увеличением численности населения на Земле, с осознанием человечества исчерпаемостью запасов рыбы в Мирового океана и внутренних водоемах, с потребностью в качественных продуктах питания. В искусственных экосистемах в прудах, садках, бассейнах рыбу выращивают при высоких плотностях посадки с использованием комбикормов. Состав которых как правило далек от состава естественной пище. Для стимуляции темпа роста и защиты от болезней в комбикорма часто вводят антибиотики, которые затем при потреблении рыбы переходят в организм человека. Альтернативой антибиотикам должны стать пробиотики произведенные на основе наиболее встречающих микроорганизмов входящих в кишечную микробиоту рыб или других водных животных. Известно, что кишечная микрофлора обеспечивает гуморальный иммунитет и способствует повышению сохранности и предотвращает заболевания рыб при выращивании. В наших и исследованиях других авторов показано, что применение протиотиков на основе бацилярных форм и лактобактерий положительно влияет на организм рыб.
Ключевые слова: скорость роста, пробиотики, молодь рыб и ракообразных, кормление, гомеостаз, микробиом, выживаемость.

USE OF PROBIOTICS IN AQUACULTURE

I.V.Moruzi [1], E.V.Pishchenko [1], G.V.Kalmykova [2], G.A.Nozdrin[1], S.V., Sevasteev [1], A.I.Mikhailov[1], D.V.Kropachev [1], P.V.Belousov [1], N.N. Razokov[1], E.A.Eliseeva [1]
Novosibirsk State Agrarian University1, Novosibirsk, Russia
LLC "MICOPRO "2 Novosibirsk, Russia

Summary. Fish breeding with the use of various technologies is developing more and more widely in the world. It is connected with the increase of mankind's demand for food due to the increase of population on the Earth, with humanity's realization of the exhaustibility of fish stocks in the World Ocean and inland water bodies, with the need for quality food products.
In artificial ecosystems in ponds, cages, swimming pools fish are grown at high planting densities with the use of mixed fodder. The composition of which is usually far from the composition of natural food. To stimulate growth rate and protection against diseases, antibiotics are often introduced into mixed fodders, which then pass into the human body when fish are consumed. Probiotics produced on the basis of the most common microorganisms included in the intestinal microbiota of fish or other aquatic animals should become an alternative to antibiotics. It is known that intestinal microflora provides humoral immunity and contributes to the increase of safety and prevents diseases of fish during cultivation. In our and other authors' studies it is shown that the use of protiotics based on bacillary forms and lactobacilli has a positive effect on fish organism.
Key words: growth rate, probiotics, young fish and crustaceans, feeding, homeostasis, microbiome, survival rate.

Человечество, вступив в 21 век, стало все больше задумывается об обеспечении продуктами питания, заботясь о будущих поколениях. Человек осознал, что больше не может брать у природы, нужно заботиться об объемах производства и качестве пищи, создавать такие технологии, которые обеспечили бы непрерывный прирост продуктов питания. Если XX веке на первое место ставили продукты питания животного происхождения и основной направляющей отраслью сельского хозяйства являлось животноводство, и при этом особая роль отводилась птицеводству в настоящее время многие страны ставят ставку на развитие аквакультуры. В начале XXI века уровень добычи рыбы в океане и производство в аквакультуре стали близки к половине возможного уровня вылова рыбы.В отчете ФАО 2022 г. «Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2022. На пути к "голубой" трансформации» говорится о том, что «В 2020 году на мировые рынки было поставлено порядка 178 млн тонн водных животных, что несколько ниже рекордного объема, зарегистрированного в 2018 году – 179 млн тонн». В 2020 г. в мире был произведен рекордный объем продукции аквакультуры – 122,6 млн т на общую сумму 281,5 млрд долл. США. На водных животных приходилось 87,5 млн т и 35,1 млн т – на водоросли [20].

Аквакультура (в том числе рыбоводство) – специфическая отрасль животноводства, поскольку рыба живет в среде, отличающейся от среды жизни обычных сельскохозяйственных животных. Многие столетия человечество занималось отловом промысловой морской и пресноводной рыбы. Рыбоводству отводилась второстепенная роль источника местного пищевого сырья. Относительно небольшое количество хозяйств занималось культивированием рыб. В какой-то мере это определило слабое развитие современной отечественной аквакультуры, так как долгое время в приоритете было рыболовство. Такая ситуация, не соответствует потенциальным возможностям современного рыбного хозяйства и неспособна удовлетворять возрастающие потребности населения в высококачественных рыбных продуктах. Сейчас происходит изменение приоритетов. Отрасль имеет тенденции к развитию, при этом ее направленность, на покрытие потребностей в пищевой рыбе из аквакультурных хозяйств увеличивается. Это становится необходимо как в свете продовольственной безопасности России, так в связи с необходимостью восстановления, поддержания численности рыб, составляющих основной промысловый запас и гордость России: осетровых, сиговых, лососевых рыб.

Россия располагает огромными водными площадями, которые можно использовать для выращивания товарной рыбы, это реки, озера, пруды. Притом выращивание возможно, как в экстенсивных хозяйствах (пастбищное рыбоводство), так и в интенсивных условиях (прудовые, садковые хозяйства, бассейновые и пр.)

Интенсификация производства рыбной продукции в рыбоводных хозяйствах разного типа ведет к усложнению среды обитания для рыб. Основой любой технологии продукции животного происхождения является обеспечение быстрого прироста массы за ограниченный период времени на ограниченной площади. Рыбы при этом существуют в искусственных экосистемах различного уровня от прудов до установок замкнутого водоснабжения; кормление проводится специально разработанными кормами, объем и режим питания регулируется человеком [4, 6]. На этом фоне возникают заболевания, ведущие к снижению темпов роста рыбы и ее значительным отходам. Важным является и то, что изменения, происходящие в организме рыб от применения различного рода ростостимулирующих веществ в рационе, бессистемное применение антибиотиков ведут к изменению микробного равновесия в организме животного [18]. Такие ситуации приводят к снижению общей резистентности организма и темпа роста. Одним из элементов неспецифической защиты живого организма от неблагоприятных воздействий окружающей среды является его пищеварительная среда, в частности состав и структура кишечной микрофлоры [9]. К сожалению, корма производимые промышленностью, не содержат элементы микрофлоры, в отличие от естественных кормов, микробиота которых во многом идентична микробиоте пищеварительного тракта гидробионтов, из-за единства

среды обитания. Это вызывает необходимость разработки комплексных препаратов, содержащих такие микроорганизмы – пробиотиков.

Наши исследования направлены на разработку на получение и использование штаммов микроорганизмов, благотворно влияющих на гомеостаз организма хозяина (скорость роста, массонакопления, состав крови и пр.).

Для оценки эффективности, имеющихся в производстве и разрабатываемых препаратов следует провести ряд наблюдений и установить примерные дозы и схемы введения в корма для рыб неспецифических микробиологических препаратов, использованных для теплокровных животных и ракообразных в кормлении стерляди.

Результаты исследований могут послужить основой разработки стратегии исследований, направленных на получение и использование штаммов микроорганизмов, благотворно влияющих на гомеостаз организма хозяина (скорость роста, массонакопления, состав крови и пр.) при разработке кормов для выращивания рыб в заводских условиях и других технологиях выращивания, направленных на производство экологически чистой рыбной продукции. Использование комбикормов с микробиологическими препаратами позволит усилить иммунный ответ, несколько увеличить темп роста и снизить смертность рыб.

Свойственный каждому организму микробиом закладывается вскоре после рождения и сосуществует с ним в течение его жизни. Во многих случаях приносит пользу хозяину, улучшает устойчивость к болезням, общему состоянию здоровья, повышает показатели роста, которые достигаются за счет улучшения микробного баланса хозяев и микробного баланса окружающей среды [23, 25, 59, 64]. Состав врожденной микрофлоры зависит от генетических факторов, абиотических факторов внешней среды (среды обитания животных) и типа питания [46]. Литературные данные о формировании кишечной микробиоты рыб противоречивы.

Данные одних исследователей свидетельствуют, что в формирование микробиоты слизистой кишечника рыб, разных экологических групп, наибольший вклад вносит ассоциированная микробиота воды. В формирование микробиоты содержимого кишечника – ассоциированная микробиота водного биотопа (микробиотой пищи, воды и грунта) [46, 35]. Ряд авторов пишет о том, что кишечная микробиота рыб отлична от микробиоты, ассоциированной с компонентами окружающей среды [23, 25, 59, 64, 46, 35]. Этот положение широко обсуждается в науке. В работах разных авторов находим положения о том, что доминирующая микробиота в кишечнике рыб с разным типом питания (всеядных, планкто-бентофагов, типичного ихтиофага и ихтиофага-факультативного бентофага) представлена филумами Proteobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes, Actinobacteria и Cyanobacteria [46]. Пищеварительный тракт морских видов рыб колонизирован преимущественно облигатными анаэробами, а в кишечнике большинства видов изолируются в основном представители аэробных или факультативно анаэробных родов бактерий: Vibrio и Pseudomonas. Они составляют значительную часть микрофлоры [35, 40].

Микрофлора пресноводных рыб в основном представлена родами Aeromonas, Plesiomonas, семействами Enterobacteriaceae и облигатными анаэробными бактериями рода Bacteroides, Fusubacterium и Eubacterium [31, 44, 46, 57, 58]. Большое значение имеют непатогенные изоляты: *Vagococcus fluvialis* и *Vibrio harveyi* [52]. *Brevibacillus brevis*, молочнокислые бактерии лакто- и бифидобактерии [42], образуя пленки на стенках слизистого эпителия желудочно-кишечного тракта, они тем самым сокращают оппортунистическое вторжение патогенов.

В настоящее время пробиотики используются в рыбоводстве все чаще. Их использование в аквакультуре оказывает большое влияние на водные организмы и среду обитания. Пробиотики уменьшают накопление органических загрязнений и эффективно поддерживают качество воды. Современный пробиотический организм должен влиять на два основных фактора повышение эффективности роста и устойчивость к болезням [51, 57].

Гидробионты и микроорганизмы образуют одну экосистему. Микрофлора рыб напрямую связана с обсемененностью водоемов, где они обитают. Доказано, что бактерии, присутствующие в водной среде, влияют на состав микробиоты кишечника и наоборот [34]. Verschuere L. и др. установили, что пробиотики оказывают защитный эффект за счет конкуренции с патогенными микроорганизмами за питательные вещества и энергию. Например, Vibrio alginolyticus используется в качестве пробиотика во многих инкубаториях эквадорских креветок с конца 1992 г. [64].

Nair S. и др. описали морские бактерии, синтезирующие бактериологические ферменты, губительно действующие на Vibrio parahaemolyticus [52, 3]. Imada C. и др. выделили и описали штамм *Alteromonas sp.* B-10-31, продуцирующий монастатин – щелочную протеазу, ингибирующий протеазы *Aeromonas hydrophila* [3, 42, 45, 51] и тиоловой протеазы *Vibrio anguillarum* [53].

Joborn A. и др. [45] выделили из ЖКТ атлантического лосося *Salmo salar* штамм *Carnobacterium inhibens* K1, метаболически активный как в кишечнике, так и в фекалиях лососевых [53]. Robertson P. и др. установили, что снижение смертности лососевых возможно за счёт высокой антагонистической активности *C. inhibens* K1 по отношению *Aeromonas salmonicida, Vibrio ordalii and Yersinia ruckeri* [32]. Park S.C., Shinamura I., Fukunaga M, Mori K.I., Nakai T. В своих исследованиях показали, что Enterococcus faecium SF68 ингибирует рост *Edwardsiella tarda,* уменьшая смертность морских угрей и обыкновенного сома *Silurus glanis* [54]. В работах других ученых показано, что энтерококки оказывают влияние на микрофлору кишечника сома, снижая численность *Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Clostridium spp*. [28].

Gatesoup F. [цит. 50] указывал, что молочнокислые бактерии *Lactobacillus plantarum* и *L. helveticus* снижают смертность палтуса *Scopthalmus maximus* при заражении Vibrio, а также ускоряют рост рыб [50].

Park et al., Hai N. выделили бактериофаги семейств Myoviridae and Podoviridae от больного азиатского лосося айю (*Plecoglossus altivelis*) [54]. При добавлении с пищей бактериофаги угнетали *Pseudomonas plecossicida* – возбудителя заболевания, снижая их количество в почках лосося и в воде [28, 50]. Arijo S. и др. выявили, что живые пробиотики обладали способностью продуцировать перекрестно-реактивные антитела, направленные против *V. harveyiinfections* у радужной форели [28, 63].

В работах других авторов продемонстрированы положительные эффекты одной наиболее важной группы пробиотических бактерий, таких как *Lactobacillus sp.* на рост нильской тилапии [63], пресноводной креветки [27], морского леща [30], африканского сома [60], персидского осетра и белуги [55]. Выявленные пробиотические бактерии и Bacillus licheniformis показали in vitro вибриоцидную активность против 60% выделенных вибриоспецифических видов из источников воды. Наиболее высокая активность была установлена при нейтральном и слабощелочном pH, и температуре 30°C, антагонистическое свойство было невосприимчивым к используемым поверхностно-активным веществам [8]. Аналогично *Lactobacillus spp*., выделенный из образцов творога явно вытесняют рост патогенных бактерий *Vibrio spp*. и *Shigella spp*., которые вызывают массовую смертность у личинок гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в регионе Кхулна и Сатхира [39]. Перспективным направлением в аквакультуре является использование комбикормов со спорообразующими пробиотическими культурами [36].

В настоящее время, в качестве пробиотиков наиболее часто используются молочнокислые бактерии: *Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus casei, Bacillus sp., Bifidobacterium bifidum, Lactococcus lactisand* и т.д. [29, 42, 48] из-за их высокой антагонистической активности, производства и доступности внеклеточных ферментов, таких как протеазы, карбогидразы и липазы [33]. Пробиотики положительно влияют на темпы роста хозяина, улучшая усвояемость корма [56], благодаря коррегированию работы пищеварительных ферментов альгинатлиазы, амилазы и протеазы [65]. Снижают

количество заболеваемости, требуя меньше химических препаратов [43]. Более того, пробиотики хорошо работают в различных водных средах: пресная вода [41] и морская вода [47]. *Bacillus sp.* обладают адгезионными способностями, продуцируют бактериоцины (антимикробные пептиды) и обеспечивают иммуностимуляцию, также используется для уменьшения метаболических отходов в водной системе [49]. Повсеместное использование молочнокислых бактерий, которые не являются доминирующими в нормальной микробиоте кишечника личинки или растущей рыбы основывается на феномене конкурентного исключения: конкуренция за места прикрепления на слизистой оболочке, за питательные вещества [42, 64]. Бактерии в норме заселяющие слизистые, оказывают антагонистическое действие в отношении патогенной и условно-патогенной микрофлоры, обеспечивают витаминообразующую и ферментативную функции [19]. Однако маловероятно, что одно экзогенное добавление пробиотика к установленному микробному сообществу приведет к длительной доминантной колонизации [42, 64]. Это особенно характерно для бактериальных видов, которые не относятся к нормальной доминантной микробиоте кишечника культивируемых видов или её конкретной стадии развития. В таких случаях, для модификации состава микробного сообщества в кишечнике, необходимо регулярно вводить пробиотик, если требуется непрерывная колонизация при высоких плотностях [42]. Многие ученые сообщают, что молочнокислые бактерии – популярные пробиотические штаммы, применяемые для борьбы с бактериальными возбудителями, способствуют росту и размножению и могут использоваться в качестве альтернативы антибиотикам. К настоящему времени известно, что некоторые энтерококки могут обладать характеристиками вирулентности и сохранять способности антибиотикорезистентности, поэтому акцентируем внимание на молочнокислых бактериях, поскольку конечной инстанцией пищевой цепи, является человек [38]. Пробиотики эффективны и экологичны, поэтому подходят для всей системы аквакультуры, оказывают положительное влияние на здоровье гидробионтов, и здоровье потребителей.

Для профилактики бактериальных заболеваний последние годы применяются микробиологических препараты, повышающие иммунный статус рыб. Основой действия микробиологических препаратов является конкуренция с условно-патогенной и гнилостной микрофлорой кишечника, активация кишечных ферментов, улучшение перевариваемости корма [1, 5, 12, 14, 16, 24]. Позитивное влияние пробиотиков основано, во-первых, на их антагонистической активности против патогенов, реализуемой благодаря продукции антибактериальных веществ, изменению pH среды, что обеспечивает опосредованное их влияние на ферментативную активность патогенов; во-вторых, их конкуренции с патогенами за рецепторы адгезии; в-третьих, за счет стимуляции иммунитета (стимуляции активности макрофагов, увеличения уровня антител) [21, 26]. Пробиотики помогают послестрессовой адаптации, возникающей у рыб при проведении технологических работ – после бонитировки, резкой смены температурного режима, применения антибиотиков, химиопрепаратов, дезинфектантов. Введение в корм пробиотиков увеличивает резистентность организма к патогенным микроорганизмам, улучшают работу пищеварительной системы за счет дополнительной продукции ферментов в пищеварительном тракте [17]. Регулируя микробиоценоз пищеварительного тракта пробиотики вносят существенный вклад в усвоение питательных веществ, что уменьшает кормозатраты, делают корма более эффективными, а их применение выгодным [2]. Применение пробиотиков на ранних стадиях выращивания рыб, а также обработка пробиотиком икры, эмбрионов и личинок увеличивает коэффициент выживаемости и снижает естественную смертность рыб на личиночной стадии развития, способствует стимуляции жизнестойкости рыб на ранних этапах онтогенеза и напряженности естественного иммунитета [13, 62]

Подращивание молоди рыб до жизнестойких стадий один из важнейших элементов при увеличении продуктивности товарных водоемов. Особенно важное значение при этом

имеет создание устойчивого иммунитета рыб. Известно, что, при естественном нересте в открытых водоемах, сохранность молоди от выметанной самкой икры составляет около 10% [22]. До половозрелого состояния сохраняется 1-2 экз. из всей единовременно выметанной икры. Подращивание молоди рыб ведется различными способами – в мальковых прудах на естественных кормах [7] и в условиях индустриальной технологии с использованием науплиусов артемии [10, 11]. Наиболее часто для увеличения сохранности используются стартовые корма с одновременным введением пробиотиков.

При выращивании молоди рыб в условиях рыбоводных цехов исключается влияние хищников, а добавления биологически активных веществ создают условиях для нормального формирования пищеварительной системы, что позволяет с наименьшими потерями выращивать молодь до жизнестойких стадий. Например, при массе около 150 мг молодь карпа становится недоступной для хищников [16]. Однако чаще всего молодь подращивают в течение 7-14 дней до массы 50 мг. Это связано чаще с трудоемкостью процесса. При нарушении технологии кормления и содержания, особенно в период подращивания наблюдается высокий падеж личинок. В этой связи для повышения жизнестойкости рыб необходимо повышать резистентность организма и устойчивость к неблагоприятным факторам среды.

В настоящее время в рыбоводстве используется большое количество фармакологических препаратов, однако до настоящего времени пробиотики не имели широкого применения. В настоящее время ведутся исследования влияния различных штаммов микроорганизмов на формирование иммунитета рыб. Однако чаще всего, используются пробиотики, разработанные для теплокровных животных, так как для многих из них существуют технологии промышленного производства.

Таким образом, применения пробиотиков возможно поможет решить следующие задачи при выращивании рыб в аквакультуре:

1. Выращивание при повышенных плотностях посадки, что ведет к гибели рыб от недостатка кислорода и естественного корма.
2. Высокая себестоимость специализированных кормов.
3. Изменение качества воды в естественных и искусственных экосиситемах при выращивании за счет накопления органических веществ и быстрого увеличения численности различных представителей микрофлоры.
4. Вспышки заболеваний различной этиологии.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FESF-2023-0017).

Библиографический список

1. *Андреева Н.Л.* Ростостимулирующие свойства иммуномодуляторов/Н.Л. Андреева// Новые фармакологические средства в ветеринарии: тез.докл. науч. прак. конф.- Л, 1990. – С. 32.
2. *Белов Л.* Пробиотики в сельском хозяйстве/ Белов Л. – Агропресс. — 2008. – №5. – С. 36-38.
3. *Богатыренко Е.А.* Пробиотики и их применение в марикультуре /Е.А. Богатыренко // Известия ТИНРО. – 2009. – Т.157. – С. 189-196.
4. *Бурлаченко И.В.* Перспективные пробиотики для осетровых рыб / И.В. Бурлаченко, Н.В. Судакова, Е.И. Балакирев и др. // Рыбное хозяйство. – 2006. – № 3. – С. 64-65.
5. *Бурлаченко И.В.*Теоретические и прикладные аспекты повышения резистентности осетровых рыб в аквакультуре: Автореф дисс. … д-ра биол. наук. // И.В. Бурлаченко – М., 2007. – 46с.
6. *Бурлаченко, И.В.* Использование пробиотиков на ранних стадиях развития рыб и их влияние на макрофлору, рост и выживаемость личинок ленского осетра (*Acipenser baerii*) /

И.В. Бурлаченко, И.В. Банщикова, К.Б. Аветисов, Е.В. Малик // Аквакультура осетровых рыб: достижения и перспективы развития: материалы докладов IV Международной научно-практической конференции (13-15 марта 2006 г. Астрахань). – М.: ВНИРО, 2006. – С. 231-233.
7. *Веснина Л.В.* Технология получения стартовых кормов из артемии соленых озер Алтайского края/ Л.В. Веснина, Т.О. Ронжина, Г.В. Пермякова, Р.А. Клепиков//Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2012. – №3. – С.52-58.
8. *Катичева Л.Ю.* Роль и задачи отраслевой ихтиопатологической службы в охране здоровья культивируемых рыб на рыбоводных хозяйствах/ Л.Ю. Катичева // Науч.-практ. конф. проблемы охраны здоровья рыб в аквакультуре: тез. докл. – М.: Наука. – 2000. – С. 21.
9. *Кузьмина В.В.* Защитная функция пищеварительного тракта рыб */В.В. Кузьмина* // Вопросы ихтиологии. – 1995. – Т. 35. – С.86-93
10. *Литвиненко Л.И.* Инструкция по использованию артемии в аквакультуре/ Л.И. Литвиненко, Ю.П. Мамонтов, О.В. Иванова и др. – Тюмень, 2000. – 58 с.
11. *Литвиненко Л.И.* Количественное развитие артемии – основного стартового корма для объектов аквакультуры – в озерах Западной Сибири / Л.И. Литвиненко// Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2008. – № 10. – С.74-80.
12. *Малик Н.И.* Ветеринарные пробиотические препараты / Н.И. Малик, А.Н. Панин// Ветеринария. – 2001. – №1. – С. 46-51.
13. *Матишов Г.* Перспективы создания осетровых рыбоводных ферм в современных модульных системах // Состояние и перспективы развития фермерского рыбоводства аридной зоны: тез.докл. междунар. науч.конф. – Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2006. – С.5–7.
14. *Матишов Г.Г.* Опыт выращивания осетровых рыб в условиях замкнутой системы водообеспечения для фермерских хозяйств/ Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Е.Н. Пономарева и др. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – 72 с.
15. *Морузи И.В.* Рыбоводство/ И.В. Морузи, Н.Н. Моисеев, Е.В. Пищенко, З.А. Иванова, Н.М. Костомахин. – М.:КолосС, 2010. – 295 с.
16. *Ноздрин Г.А.* Научные основы применения пробиотиков в птицеводстве/ Г.А. Ноздрин, А.Б. Иванова, А.И. Шевченко и др. – Новосибирск: НГАУ, 2013. – 224 с.
17. *Ноздрин Г.А.* Эффективность пробиотика Ветом 2.26 при скармливании молоди карпа / Г.А. Ноздрин, Морузи И.В., Хмельков С.В., Пищенко Е.В., Иванова А.Б. //Вестник НГАУ. – 2013. – № 4(29). – С. 58-61. – EDN RWMXAF.
18. *Ноздрин, Г.А.* Система препаратов для решения ихтиопатологических проблем в аквакультуре / Г.А. Ноздрин, А.Б. Иванова, Ю.С. Аликин и др. // Вестник НГАУ. – 2012. – №2 (23). – С. 62.
19. Об объеме рыбопроизводства в Казахстане (инфографика). – URL: https://www.fishnet.ru/news/novosti_otrasli/90180.html (дата обращения: 25.10.2023).
20. Отчет ФАО 2022. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2022. На пути к "голубой" трансформации. – Рим, ФАО, 2022. – https://doi.org/10.4060/cc0463ru
21. *Панасенко В.В.* Оценка микробиологических показателей пробиотиков, используемых в кормах при выращивании рыб (Субтилис, Ветом, Субалин) / В.В Пана-сенко// Состояние и перспективы развития фермерского рыбоводства аридной зоны: материалы международной конференции. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. –112 с.
22. *Привезенцев Ю.А.* Рыбоводство / Ю.А. Привезенцев, В.А. Власов. – М.: Мир, 2004. – 56 с.
23. *Сафонов Г.А.* Пробиотики как фактор, стабилизирующий здоровье животных Г.А. Сафонов, Т.А. Калинина, В.П. Романова // Ветеринария. – 1992. – №7-8 (3). – С. 3-34.
24. *Смирнов В. В*. Современные представления о механизме лечебно-профилактического действия пробиотиков из бактерий рода Bacillus/В. В. Смирнов // Микробиология. – 1993. – Т. 55. – С. 34-35.
25. *Текебаева Ж.Б.* Пробиотики и их применение в аквакультуре / Ж.Б. Текебаева, Г.С. Шахабаева, З.С. Сармурзина, Г.Н. Бисенова и др. // Новости науки Казахстана. – 2020. – №4 (147). – С.170-185.

26. *Юхименко Л.Н.* Перспективы использования субалина для коррекции микрофлоры кишечника рыб и профилактики БГС / Л.Н. Юхименко, Л.И. Бычкова //Проблемы охраны здоровья в аквакультуре: тез. докл. науч.-практ.конф. – М., 2005. – С. 133-136.
27. *Al-Dohail M.A.* Effects of the probiotic, *Lactobacillus acidophilus*, on the growth performance, haematology parameters and immunoglobulin concentration in African catfish / M.A. Al-Dohail, R. Hashim, M. Aliyu-Paiko // Aquaculture Research. – 2009. – № 40. – P. 1642-1652.
28. *Arijo S.* Subcellular components of *Vibrio harveyiand* probiotics induce immune responses in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*(Walbaum), against *V. harveyi* /S. Arijo, J. Brunt, M. Chabrillon, P. Daz-Rosales, B. Austin // Journal of Fish Diseases. – 2008. – № 31. – P. 579-590.
29. *Arllano C.F.* Thermostable alpha-1, 4-and alpha-1,6-glucosidase enzymes from *Bacillus sp*. isolated from a marine environment / C.F. Arllano, S.J. Olmos // World Journal Microbiology and Biotechnology. – 2002. – № 18. – P. 791-795.
30. *Askarian F.* The effect of lactic acid bacteria administration on growth, digestive enzyme activity and gut microbiota in Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) and beluga (*Huso huso*) fry / F. Askarian, A. Kousha, W. Salma, E. Ringo// Aquaculture Nutrition. – 2011. – № 17. – P. 488-497.
31. *Balcazar J.L.* The role of probiotic in aquaculture J.L. Balcazar, D. Vendrell, I. De Bias, D. Cunninghem, D. Vandrell, J.L. Muzquiz // Veterinary Microbiology. – 2006. – № 114. – P. 173-186.
32. *Bogut I.* Effects of Enterococcus faecium on the growth rate and content of intestinal microflora in sheat fish Silurus glanis / I. Bogut, S. MilakovicBrkic, D. Novoselic // Veterinarni Medicina. – 2000. – № 45. – P. 107-109.
33. *Boonthai T.* Probiotic bacteria effects on growth and bacterial composition of black tiger shrimp (Penaeus monodon) / T. Boonthai, V. Vuthiphandchai, S. Nimrat // Aquac Nutr. – 2011. – № 17. – P. 634-644.
34. *Cahill M.M.* Bacterial flora of fishes: a review / M.M. Cahill // Microbial Ecology. – 1990. – № 19. – P. 21-41.
35. *Clements, K. D.* Fermentation and gastrointestinal microorganisms in fishes/ K. D. Clements // Gastrointestinal microbiology. – New-York, 1997. – P. 156-198.
36. *Corcoran B.M.* Comparative survival of probiotic lactobacilli spray-dried in the presence of probiotic substances // Journal of Applied Microbiology. – 2004. – №96(5). – P. 1024–1039. doi:10.1111/j.1365-2672.2004.02219.x.
37. *Deschrijver R.* Protein digestion injuvenile turbot (Scophthalmus maximus) and effects of dietary administration of Vibrio proteolyticus / R. Deschrijver, F. Ollevier // Aquaculture. – 2000. – № 186. – P. 107-116.
38. *El-Haroun E.R.* Effect of dietary probiotic Biogens supplementation asa growth promoter on growth performance and feedutilization of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) /E.R. El-Haroun, A.M. Goda, M. Kabir Chowdhury // Aquaculture Research. – 2006. – № 37. – P. 1473-1480.
39. *Hagi T.* Diversity and seasonal changes in lactic acid bacteria in the intestinal tract of cultured freshwater fish /T. Hagi, D. Tanaka, Y. Iwamura, T. Hoshino // Aquaculture. – 2004. – № 234. – P. 335-346.
40. *Hansen G.*H. Bacterial interactions in early life stages of marine cold water fish /Hansen G.H., Olafsen J.A. // Microbial Ecology. – 1999. – № 38. – P. 126.
41. *Hong H.A.* The use of bacterial spore formers as probiotics / H.A. Hong, L.H. Duc, S.M. Cutting // FEMS Microbiol Reviews. – 2005. – № 29. – P. 813-835.
42. *Imada C.* Purification and characterization of the protease inhibitor "monastatin" from a marine Alteromonas sp. with reference to inhibition of the protease produced by a bacterium pathogenic to fish / C. Imada, M. Maeda, N. Taga // Canadian Journal of Microbiology. – 1985. – № 31. – P. 1089-1094.
43. *Irianto A.* Use of probiotics to control furunculosis in rainbow trout, Oncorhynchus mykiss (Walbaum) /A. Irianto, B. Austin // Journal of Fish Diseases. – 2002. – № 25. – P. 1-10.
44. *Jameson J.D.* Role of probiotics in aquaculture practices / J.D. Jameson // Fishing Chimes. – 2003. – № 23. – P. 9.

45. *Joborn A.* Colinisation in the fish intestinal tract and production of inhibitory substances in intestinal mucus and faecal extracts by Carnobacterium sp.Kl /A. Joborn, J.C. Olsson, A. Westerdahl // Journal of Fish Diseases. – 1997. – № 20. – P. 383-392.
46. *Kashinskaya, E.N.* A comparative study on microbiota from the intestine of prussian carp (*Carassius gibelio*) and their aquatic environmental compartments,using different molecular methods / E.N. Kashinskaya, N.L. Belkova, G.L. Izvekova, E.P. et al. // Journal of Applied Microbiology. – 2015. – № 119. – P. 948-961.
47. *Klewicki R.* Antagonistic activity of lactic acid bacteria as probiotics against selected bacteria of the Enterobaceriacae family in the presence of polyols and their galactosyl derivatives / R. Klewicki, E. Klewicka //Biotechnology Letters. – 2004. – № 26. – P.317-320.
48. *Kumar R.* Evaluation of Bacillus subtilis as a probiotic to Indian major carp Labeo rohita (Ham.)/ R. Kumar, S.C. Mukherjee, K.P. Prasad, A.K. Pal // Aquatic Resources. – 2006. – № 37. – P. 1215- 1221.
49. *Lahtinen J.* Fr'iasbiology /J. Lahtinen, R.J. Boyle, A. Margolles. – 2004. – № 96. – P. 1024-1031.
50. *Lara-Flores M.* Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)/ M. Lara-Flores, M.A. E.Olvera-Novoia, B.E. Gusman-Mendez, W. Lopez-Madrid//Aquaculture. – 2003. – № 216. – P.193-201.
51. *Mai D.* Ibrahem Evolution of probiotics in aquatic world: Potential effects, the current status in Egypt and recent prospectives /D. Mai // Journal of Advanced Research. – 2015. – № 6. – P. 765-791.
52. *Nair S.* Distribution of bacteriolytic bacteria in the coastal marine environments of Japan /S. Nair, K. Tsukamoto, U. Shimidu // Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries. – 1985. – № 51. – P. 1469-1473.
53. *O'Dowd C.* Use of Carnobacterium sp. as a probiotic for Atlantic salmon Salmo salar L. and rainbow trout Oncorhynchys mykiss Walbaum / C. O'Dowd, C. Burrels, P. Williams, B. Austin // Aquaculture. – 2000. – № 185. – P. 235-243.
54. *Park S.C.* Isolation of bacteriophages specific to a fish pathogen, Pseudomonas plecoglossida, as a candidate for disease control / S.C. Park, I. Shinamura, M. Fukunaga, K.I. Mori, T. Nakai //Applied and Environmental Microbiology. – 2000. – № 66. – P. 1416-1422.
55. *Rahim A.M.* The application of probiotic technology to prevent prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) mortality in the south-west coastal region of Bangladesh/ A.M. Rahim, S. Rahman, M.N. Naser, M.M. Karim // Proceedings of the 1st International Exhibition on dairy, aqua and pet animals. Animal Health Companies Association of Bangladesh. – 2012. – P. 204-210.
56. *Rahiman K.M.* Probiotic effect of Bacillus NL110 and Vibrio NE17 on the survival, growth performance and immune response of Macrobrachium rosenbergii (de Man)/ K.M. Rahiman, Y. Jesmi, A.P. Thomas, A.M. Hatha // Aquatic Resources. – 2010. – № 41. – P. 120-134.
57. *Ringo E.* Lactic acid bacteria in fish: a review /E. Ringo, F.J. Gatesoupe // Aquaculture. – 1998. – № 160. – P. 177-203.
58. *Romero C.* Expression of FLR1 transporter requires phospholipase C and is repressed by Mediator / C. Romero, P. Desai, N. DeLillo, A. Vancura // Journal of Biological Chemistry. – 2006. – № 281(9). – P. 5677-85.
59. *Salminen S.* Probiotik: how should they be defined? / S. Salminen, F. Ouwehand, Y. Benno, Y.K. Lee // Trends in Food Science & Technology. – 1999. – №10. – P. 107-110.
60. *Sarker A.* Optimization and partial characterization of a putative probiotic bacterium antagonistic to vibrios in shrimp larval rearing system /A. Sarker, S. Rahman, S.N. Khan et al.// Dhaka Universoty Journal of Pharmacitical Science. – 2010. – № 9(1). – P. 23-29.
61. *Suzer C. Lactobacillus spp.* bacteria as probiotics in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) larvae: effects on growth performance and digestive enzyme activities / C. Suzer, D. Joban, H.O., S. Kamaci Saka, K. Firat, O. Otgucuoglu, H. Kuguksari // Aquaculture. – 2008. – № 280. – P. 140-145.

62. *Tatsuro H.* Screening and characterization of probiotic lactic acid bacteria from cultured common carp intestine / H. Tatsuro, H. Takayuki / Biosci., Biotechnol., Biochem. – July 2009. – № 73(7). – P.1479-1483.
63. *Venkat H.K.* Effect of feeding Lactobacillus- based probiotics on the gut microflora, growth and survival of postlarvae of Macrobrachium rosenbergii (de Man) / H.K. Venkat, N.P. Sahu, K.K. Jain // Aquaculture Research. – 2004. – № 35. – P. 501-507.
64. *Verschuere L.* Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture / L. Verschuere, G. Rombaut, P. Sorgeloos, W. Verstraete //Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2000. – № 64. – P. 655-671.
65. *Vijayan K.K.* A brackishwater isolate of Pseudomonas PS-102, a potential antagonistic bacterium against pathogenic vibrios in penaeid and non-penaeid rearing systems/ K.K. Vijayan, I.S.B. Singh, N.S. Jayaprakash, S.V. Alavandi, S. Pai, R. Preetha, J.J.S. Rajan, T.C. Santiago // Aquaculture. – 2006. – № 251. – P. 192-200.
66. *Yu M.C.* Effects of dietary medicinal herbs and Bacillus on survival, growth, body composition, and digestive enzyme activity of the white shrimp Litopenaeus vannamei / M.C. Yu, Z.J. Li, H.Z. Lin, G.L. Wen, Ma S.//Aquaculture International. – 2009. – № 17. – P. 377-384.

УДК 577.115.3:597.552.511:639.3.07: [639.3.043 + 591.442]

ВВЕДЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *Salmo salar* L. ИЗМЕНЯЕТ СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В НАПРАВЛЕНИИ СМОЛТИФИКАЦИИ

Д. С. Провоторов*, С. А. Мурзина**, В. П. Воронин, А. Е. Курицын, Н. Н. Немова

Институт биологии – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия
e-mail: klaydim1@mail.ru, murzina.svetlana@gmail.com

Аннотация. В рамках исследования внедрено постоянное искусственное освещение (24LD) в стандартные условия выращивания атлантического лосося (*Salmo salar*) в южном регионе РФ (Республика Северная Осетия-Алания). Показано, что изменения в жирнокислотном составе рыбы связаны с завершением смолтификации и готовностью к переходу в морскую среду обитания, при этом наиболее выражен процесс у рыб, выращиваемых при постоянном освещении, а также у молоди при естественном фотопериоде. Показано увеличение полиеновых жирных кислот (ПНЖК), за счет n-3ПНЖК, а также отдельных длинноцепочечных ЖК.

Ключевые слова: жирные кислоты, онтогенез, адаптация, свет, кормление, аквакультура, смолтификация, фотопериод, атлантический лосось

THE APPLICATION OF CONSTANT LIGHTING INTO THE PROTOCOL OF GROWING ATLANTIC SALMON *SALMO SALAR* LEAD TO CHANGES IN FATTY ACIDS ASSOCIATED WITH SMOLTIFICATION

D. S. Provotorov, S. A. Murzina, V. P. Voronin, A. E. Kuritsyn, N. N. Nemova

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IB KarRC RAS), Petrozavodsk, Russia

Summary. The constant artificial lighting (24LD) was introduced into standard conditions for growing Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the southern region of the Russian Federation (Republic of North Ossetia-Alania). It was shown that changes in the fatty acid composition of fish are associated with smoltification and readiness to transition to a marine environment, with

the process being most pronounced in fish reared under constant lighting, as well as in young's under natural photoperiod. An increase in polyene fatty acids (PUFAs) has been shown, due to n-3PUFAs, as well as individual long-chain FAs.

Keywords: fatty acids, ontogenesis, adaptation, light, feeding, aquaculture, smoltification, photoperiod, Atlantic salmon

Атлантический лосось (*Salmo salar*) является значимым объектом аквакультуры, и одним из ключевых моментов в его жизненном цикле является смолтификация. В ходе этого процесса происходят морфофизиологические, биохимические и поведенческие изменения у молоди лосося [15,10], позволяющие адаптироваться к морской среде обитания. Известно, что изменение продолжительности светового дня может стимулировать наступление смолтификации. Также этому может способствовать использование "зимних" (коротких) режимов фотопериода, таких как последовательное чередование "лето-зима-лето" с уменьшением продолжительности зимнего светового периода (так называемое "зимнее окно") [8,12,18].

Нами был проведен эксперимент по внедрению постоянного искусственного освещения (24LD) в стандартные условия выращивания молоди лосося в аквакультуре южного региона (Республика Северная Осетия-Алания). В наших более ранних работах [3,4] показаны изменения в липидном составе молоди (сеголеток) лосося при различных режимах фотопериода и кормления в осенний период. Цель данной работы – исследовать изменения жирнокислотного состава у сеголеток, пестряток и смолтов лосося в процессе смолтификации в ходе эксперимента. Результаты исследования актуальны для рыбохозяйственной отрасли для решения задачи повышения эффективности выращивания атлантического лосося и получения в итоге экологически чистой и качественной товарной продукции.

Материалы и методы

Исследование влияния фотопериода на рост и развитие молоди атлантического лосося проводилось в Республике Северная Осетия-Алания на рыбохозяйственном предприятии. Подробно схема эксперимента описана в наших работах [3]. Кратко, для стимуляции ростовых процессов использовали непрерывное освещение (24LD) с LED светодиодными осветителями (36W, 6500K) после перехода на экзогенное питание. В августе сеголеток пересадили в выростные лотки, затем их разделили на три группы и выращивали в следующих условиях: группа "24LD+КК" - круглосуточное освещение и круглосуточное кормление, группа "ЕстLD+КД" - естественное освещение и кормление в светлое время, группа "24LD+КД" - круглосуточное освещение и кормление только в светлое время. Использовался коммерческий корм марки Scretting Nutra HP (Италия) и BioMar Эфико Альфа 790 (Дания). С начала декабря подросшую молодь, согласно экспериментальным группам, перенесли в круглые бассейны. С декабря по январь дополнительное освещение не применялось. Далее выращивание пестряток и смолтов проходило в условиях естественного освещения региона. Условия дневного освещения освещения: 5500 lx, в пасмурную погоду - 500 lx. С февраля возобновлена фотопериодическая обработка. Количество смолтов в исследуемых группах в начале марта различалось: в группе «24LD+КК» - до 50%, «ЕстLD+КД» - 40%, «24LD+КД» - 25%. Для исследования отбирали молодь лосося сентябре, октябре, ноябре и марте (отбор особей проводили из каждой группы, которые на этапе развития сеголеток подвергались дополнительному освещению). Содержание жирных кислот общих липидов анализировалось в тушках (сеголетки), мышцах (пестрятки и смолты) каждой особи с использованием газовой хроматографии [6]. Исследования проводились на базе лаборатории экологической биохимии с использованием оборудования ЦКП ФИЦ "Карельский научный центр Российской академии наук".

Статистическая обработка результатов выполнялась с использованием языка программирования "R" (v. 3.6.1.) и дополнительных пакетов. Различия считались достоверными при $p \leq 0.05$.

Результаты

В тушках сеголеток лосося доминировали мононенасыщенные ЖК (МНЖК), далее следовали полиеновые ЖК (ПНЖК) и насыщенные (НЖК). Содержание МНЖК у лосося в сентябре во всех экспериментальных группах составило 36% суммы ЖК, а в ноябре повысилось до 43-44%. Содержание ПНЖК (с высоким доминированием (n-3)ПНЖК) к ноябрю также достоверно повысилось у рыб во всех экспериментальных группах. Установлена динамика снижения НЖК у рыб всех групп с сентября по ноябрь. ЖК-профиль по содержанию отдельных ЖК был представлен следующим рядом: 18:1(n-9) (20-23% суммы ЖК), 16:0 (15-17%), 22:6(n-3) (12-14%), 20:0 (1-10%), 18:2(n-6) (5-7%).

Среди ЖК мышц пестряток и смолтов доминировали ПНЖК (за счет (n-3)ПНЖК) – до 43% (до 34.9%) и до 49% (до 43%), соответственно. Второе место по количественному содержанию занимали НЖК (в пределах 27.12-33.74%). Содержание МНЖК у исследованной молоди (пестряток и смолтов) было в пределах от 22.33 до 31.19%, при этом установлен тренд к снижению этих ЖК у смолтов по сравнению с пестрятками для всех экспериментальных групп (достоверно только для рыб группы «24LD+КД»). Среди доминирующих ЖК, можно выделить: 22:6(n-3) (у пестряток – до 17.87%, у смолтов – до 30.85%, достоверно выше, чем у пестряток, в группе «ЕстLD+КД»); 16:0 (16.3 – 31.11%); 18:1(n-9) (у пестряток 17.8 – 19.12%, у смолтов - 13.5 – 14.88%), 18:2(n-6) (3.79–6.48%, у смолтов группы «ЕстLD+КД» достоверно ниже по сравнению с пестрятками).

Обсуждение

У сеголеток группы «24LD+КК», показаны четкие и устойчивые тренды к «подготовке» липидного метаболизма и его модификации с «пресноводного» типа на «морской»: изменение ЖК-спектра в сторону увеличения содержания ПНЖК за счет (n-3) ПНЖК, а в них преимущественно ЖК «морского» типа – 22:6(n-3), высокие значение соотношений (n-3)/(n-6)ПНЖК, повышения общей ненасыщенности липидов. Известно, что данные изменения можно рассматривать в качестве индикаторов смолтификации [1,2,5-7,13]. В марте, после зимнего окна, у пестряток и смолтов атлантического лосося во всех трех экспериментальных группах также доминируют (n-3)ПНЖК. Содержание физиологических значимой, в том числе и для человека, докозагексаеновой кислоты – 22:6(n-3) увеличивается в мышцах смолтов, что связывают как с увеличением двигательной активности смолтов, так и ее особой ролью в поддержании компенсаторных перестроек при переходе к обитанию в новых условиях среды (море). Повышение содержания (n-3)ПНЖК в мышцах рыб всех экспериментальных групп при одновременном снижении МНЖК и НЖК указывает на изменения в липидном метаболизме лосося в процессе смолтификации.

Заключение

Изучена динамика жирных кислот у молоди лосося, выращенной в условиях аквакультуры с применением круглосуточного освещения и различных режимов кормления. Показана эффективность использования сочетания указанных факторов при создании благоприятных условий для смолтификации молоди лосося уже в первый год их жизни, особенно условий "24LD+КК" и "ЕстLD+КД". Полученные результаты также важны для понимания и регуляции механизмов, связанных с изменениями в жирнокислотном составе во время смолтификации, с целью оптимизации условий выращивания атлантического лосося в аквакультуре.

Финансирование. Работа проведена при финансовой поддержке проекта Российского научного фонда № 19-14-00081-П «Влияние физических факторов на эффективность искусственного (заводского) воспроизводства молоди атлантического

лосося *Salmo salar*: физиолого-биохимическая и молекулярно-генетическая характеристика».

Список литературы

1. *Воронин, В.П.* Сравнительно–видовая характеристика липидов и их динамика в процессе эмбрионального и раннего постэмбрионального развития атлантического лосося (*Salmo salar* L.) и кумжи (*Salmo trutta* L.) / В.П. Воронин, С.А. Мурзина, З.А. Нефедова, С.Н. Пеккоева, Т.Р. Руоколайнен, М.А. Ручьев, Н.Н. Немова // Онтогенез. – 2021. – Т. 52. – № 2. – С. 108–119.
2. *Мурзина, С.А.* Роль липидов и их жирнокислотных компонентов в эколого–биохимических адаптациях рыб северных морей: дис. докт. биол. наук // С.А. Мурзина; М.: ИПЭЭ РАН. – М., 2019. – 376 с.
3. *Мурзина, С.А.* Показатели липидного обмена у сеголеток атлантического лосося Salmo salar, в условиях аквакультуры в южном регионе РФ при разных режимах освещения и кормления / С.А. Мурзина, Д.С. Провоторов, В.П. Воронин, М.В. Кузнецова, А.Е. Курицын, Н.Н. Немова // Известия РАН. Серия биологическая. – 2023a. – № 2. – С. 134–148.
4. *Мурзина, С.А.* Фосфолипидный состав сеголеток атлантического лосося Salmo salar в процессе роста и развития в аквакультуре: влияние разных режимов освещения и кормления / С.А. Мурзина, Д.С. Провоторов, В.П. Воронин, Д.И. Манойлова, А.Е. Курицын, С.Н. Пеккоева, Н.Н. Немова // Доклады российской академии наук. Науки о жизни. – 2023b. – Т. 509. – С. 181–185.
5. *Немова, Н.Н.* Эколого–биохимический статус атлантического лосося *Salmo salar* L. и кумжи *Salmo trutta* L. в раннем развитии / Н.Н. Немова, С.А. Мурзина, Л.А. Лысенко, О.В. Мещерякова, М.В. Чурова, Н.П. Канцерова, З.А. Нефедова, М.Ю. Крупнова, С.Н. Пеккоева, Т.Р. Руоколайнен, А.Е. Веселов, Д.А. Ефремов // Журнал общей биологии. – 2019. – Т. 80. – № 3. – С. 175–186.
6. *Нефедова, З.А.* Сравнительная характеристика жирнокислотного состава липидов заводской и дикой молоди атлантического лосося *Salmo salar* L. / З.А. Нефедова, С.А. Мурзина, С.Н. Пеккоева, В.П. Воронин, Н.Н. Немова // Сиб. экол. журн. – 2020. – Т. 27. – № 2. – С. 197–204.
7. *Нефедова, З.А.* Сравнительная характеристика жирнокислотного профиля смолтов кумжи *Salmo trutta* L. и атлантического лосося *Salmo salar* L. в период смолтификации (река Индера, бассейн Белого моря) / З.А. Нефедова, С.А. Мурзина, С.Н. Пеккоева, Н.Н. Немова // Изв. Росс. Ак. Наук. Сер. биол. – 2018. – № 2. – С. 144–149.
8. *Шульгина, Н.С.* Влияние фотопериода на рост и развитие лососевых Salmonidae северных широт / Н.С. Шульгина, М.В. Чурова, Н.Н. Немова // Журн. Общ. Биол. – 2021. – Т. 82. – № 1. – С. 68–80.
9. *Ackman, R.G.* Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery–fed and wild Atlantic salmon Salmo salar / R. G. Ackman, T. Takeuchi // Lipids. – 1986. – V. 21. – No. 2. – P. 117–120.
10. *Bjornsson, B.T.* Environmental endocrinology of salmon smoltification / B.T. Bjornsson, S.O. Stefansson, S.D. McCormick // Gen. Comp. Endocrinol. – 2011. – V. 170. – P. 290–298.
11. *Coutteau, P.* Review on the dietary effects of phospholipids in fish and crustacean larviculture / P. Coutteau, I. Geurden, M.R. Camara, P. Bergot, P. Sorgeloos // Aquaculture. – 1997. – V. 155. – P. 149–164.
12. *Duston, J.* Advancing smolting to autumn in age 0+ Atlantic salmon by photoperiod, and long–term performance in sea water / J.Duston, R.L. Saunders // Aquaculture. – 1995. – V. 135. – No 4. – P. 295–309.
13. *Nemova, N.N.* The effect of the photoperiod on the fatty acid profile and weight in hatchery–reared underyearlings and yearlings of atlantic salmon *Salmo salar* L / N.N. Nemova, Z.A. Nefedova, S.N. Pekkoeva, V.P. Voronin, N.S. Shulgina, M.V. Churova, S.A. Murzina // Biomolecules. – 2020. – V. 10. – No 6. – P. 845.

14. *Nefedova, Z.A.* Comparative characteristics of the fatty–acid composition of lipids in factory and wild juveniles of atlantic salmon *Salmo salar* L. / Z.A. Nefedova, S.A. Murzina, S.N. Pekkoeva, V.P. Voronin, N.N. Nemova // Contemporary problems of ecology. – 2020. – V. 13. – P. 156–161.
15. *Stefansson, S.O.* Smoltification / S.O. Stefansson, B.Th. Bjornsson, L.O.E. Ebbesson, S.D. McCormick // Fish Larval Physiology. – 2008. – P. 639–681.
16. *Tachtsis, B.* Potential roles of n–3 PUFAs during skeletal muscle growth and regeneration / B. Tachtsis, D. Camera, O. Lacham–Kaplan // Nutrients. – 2018. – V. 10. – No. 3. – P. 309.
17. *Takeuchi, T.* Requirement of carp for essential fatty acids / T. Takeuchi, T. Watanabe // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. – 1977. – V. 43. – P. 541–551.
18. *Thrush, M.N.* The use of photoperiod in the production of out–of season Atlantic salmon (Salmo salar) smolts / M.N. Thrush, N.L. Duncan, N.R. Bromage // Aquaculture. – 1999. – V. 121. – No 1–3. – P. 29–44.
19. *Tocher, D.R.* Effect of diets containing linseed oil on fatty acid desaturation and oxidation in hepatocytes and intestinal enterocytes in Atlantic salmon (Salmo salar) / D.R. Tocher, J. Fonseca-Madrigal, J.G. Bell, J.R. Dick, R.J. Henderson, J.R. Sargent // Fish Physiol. Biochem. – 2002. – V. 26. – P. 157–170.

УДК 597.2/.5

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ ФОНД И ДИНАМИКА УЛОВОВ РЫБЫ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

О.А. Черенков, Д.Г. Елизарьев, Щербаков В.И.

Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»), г. Барнаул, Россия, altainiro@vniro.ru

Аннотация. В настоящей работе представлен анализ рыбохозяйственного фонда водных объектов Алтайского края, приведена динамика вылова промысловых видов рыб, отмечены основные проблемы для объективной оценки состояния запасов рыб, а также рекомендованы мероприятия по увеличению рыбопродуктивности и реконструкции ихтиофауны водоёмов.

Ключевые слова: Рыбохозяйственный фонд; динамика вылова; объекты промысла; видовой состав уловов; ННН-промысел; мелиоративный лов.

FISHERY WATER FUND AND DYNAMICS OF FISH CATCHES IN THE ALTAI TERRITORY

O.A. Cherenkov, D.G. Elizariev, Shcherbakov V.I.
Altai branch of the VNIRO (“AltaiNIRO”), Barnaul, Russia, altainiro@vniro.ru

Summary. This paper presents an analysis of the fishery fund of the water bodies of the Altai Territory, shows the dynamics of catch of commercial fish species, highlights the main problems for an objective assessment of the state of fish stocks, and recommends measures to increase fish productivity and reconstruct the ichthyofauna of reservoirs.

Keywords: Fishery fund; catch dynamics; fishing objects; species composition of catches; IUU fishing; reclamation fishing.

В последнее время на фоне интенсивного антропогенного воздействия на природные экосистемы возрастает общественный интерес к их состоянию, охране и

рациональному использованию. Рациональное использование водных биоресурсов является важным фактором в сохранении их количества и должно базироваться на следующих предпосылках: обязательное сохранение естественного воспроизводства гидробионтов, определение оптимальных для каждого ресурсного организма сроков добычи, снижающих отрицательное влияние промысла на воспроизводство, прогнозное обеспечение промысла и определение объемов возможной заготовки каждого вида ресурса в водоеме [6]. Это в полной мере можно отнести к водоёмам и водотокам Алтайского края.

Цель исследования: оценка рыбохозяйственного фонда водных объектов в Алтайском крае и ретроспективный анализ динамики промышленных уловов рыбы.

Материалы и методы

В настоящей работе использованы фондовые данные мониторинга водных биоресурсов и среды их обитания Алтайского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»).

Результаты

Рыбохозяйственный водный фонд Алтайского края располагается в различных ландшафтно-географических зонах – от степной до предгорной, и включает в себя верховья р. Обь и материковые водоемы. Протяженность водотоков рыбохозяйственного фонда бассейна р. Обь, в пределах Алтайского края, около 6,0 тыс. км, в том числе наиболее ценные водотоки первой категории составляют 26,2 % общего фонда. Водотоки второй категории, по неполной оценке, занимают 31,7 %. На долю р. Обь приходится 493 км, протяженность стариц, проток и затонов - 1130 км, остальное приходится на среднее и нижнее течение основных притоков (реки Бия, Катунь, Чарыш, Алей, Песчаная, Ануй, Чумыш, Каменка, Большая Речка и некоторые другие). Из водотоков Кулундинской равнины рыбохозяйственное значение имеют реки Бурла, Кулунда и Кучук [2;3;7].

Для данных водотоков характерен плотвично-лещевый тип ихтиофауны. Реки второй категории (протяженность 2,0 тыс. км) могут быть базой для развития любительского лова (ихтиофауна карасево-окуневого типа).

Общий рыбохозяйственный озерный фонд Алтайского края составляет 634,0 км^2, в том числе фонд первой категории – 462 км^2 и представлен озерно-речными системами – Бурлинской, Кулундинской, Касмалинской и Барнаульской [2;3].

На территории края имеется (кроме части Новосибирского, площадью около 16 тыс. га) 53 водохранилища с объемом воды более 1,0 млн. м^3 построенных в 70-80-х годах в ирригационных целях и в настоящее время практически не используемые по прямому назначению. Большинство водохранилищ может быть использовано для аквакультуры, организации промышленного и любительского рыболовства.

Из всего состава ихтиофауны водных объектов Алтайского края в настоящее время промысловое значение имеют 9 видов, в том числе: лещ (*Abramis brama* (Linnaeus, 1758)), серебряный карась (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)), плотва (*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)), язь (*L. idus* (Linnaues, 1758)), речной окунь (*P. fluviatilis* (Linnaues 1758)), налим (*L. Lota* (Linnaues, 1758)), судак (*Sander lucioperca* (Smitt, 1893)), обыкновенная щука (*Esox Lucius* (Linnaues, 1758)) и сазан (*Cyprinus carpio* (Linnaues, 1758)) [1].

По официальным данным, промышленные уловы рыбы по Алтайскому краю за последние четырнадцать лет (2009-2022 гг.) увеличились с 480,7 т (2010 г.) до 2114,8 т (2022 г.), что может быть обусловлено включением в состав промысла новых рыболовных участков (в основном за счет материковых озер Алтайского края), а также трансгрессивным уровнем водности, что положительно сказалось на естественном воспроизводстве рыб (рис. 1). Следует отметить, что на протяжении ряда лет водные объекты Алтайского края не испытывали дефицита водности.

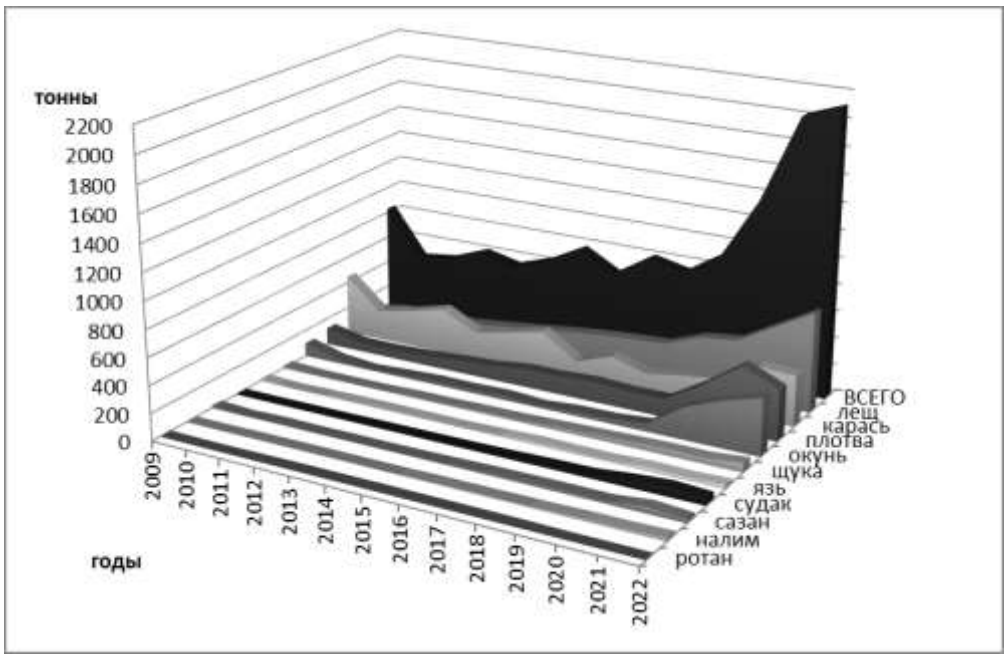


Рис. 1. Динамика уловов рыбы в Алтайском крае за 2009 - 2022 гг.

В видовом составе более 70 % объёма вылова составляют лещ, плотва и карась. С 2020 года отмечено значительное увеличение объёмов вылова окуня пресноводного, что обусловлено введением в состав промысла новых рыболовных участков. Доля в уловах остальных объектов промысла составляет менее 10 %. Ценные виды рыб, занесенные в Красную Книгу Алтайского края — сибирский осетр, стерлядь, таймень и нельма в уловах встречаются единично. Ленок с категорией – 0, вероятно, исчезнувший, в уловах не встречается [5].

Основным рыбохозяйственным водным объектом в Алтайском крае является река Обь. В настоящее время на акватории р. Обь в административных границах Алтайского края сформирован 21 рыболовный участок. Рыбным промыслом занимаются 7 пользователей: ОАО «Каменский рыбозавод» (76,2 %), ООО «Магтал» (17,9 %), ООО «Источник» (0,1 %), ИП «Искрин» (3,7 %), ООО «Алтайфишпром» (0,2 %), ООО «Штиль» (1,6 %) и ООО «Барром» (0,02 %). Общая величина промыслового изъятия рыбы в 2022 году на р. Обь составила 586,9 т, что соответствует уровню 2021 года (рис. 2).

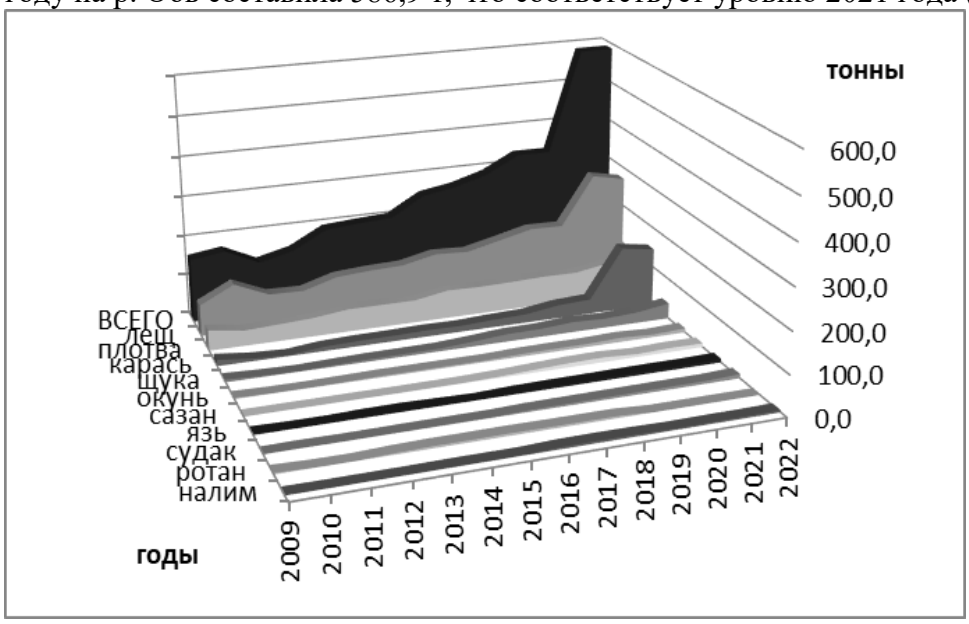


Рис. 2. Динамика вылова промысловых видов рыб р. Обь в границах Алтайского края, 2009-2022 гг.

В видовой структуре уловов, по данным промысловой статистики за 2022 год, более 85 % объёма вылова приходится на долю леща, карася и плотву. Доля в уловах остальных промысловых видов рыб суммарно составляет 14,1 %. Налим в уловах встречается в основном в качестве прилова и его доля невелика.

Анализ динамики освоения водных биоресурсов в реке Обь в границах Алтайского края показал очень высокий уровень рассматриваемого показателя. Так, за многолетний период мониторинговых и прогнозных работ на реке Обь (2009-2022 гг.) средний объем рекомендованного вылова рыбы составляет 293,8 т, объем фактической добычи (вылова) за этот период – 274,0 т. Среднегодовой показатель освоения составляет 93,1 % (рис.3).

Основные объекты промысла в озерных системах Алтайского края: карась, плотва, окунь и сазан (рис. 4). Запасы последнего, из-за низкого уровня интродукционных работ, находятся в депрессивном состоянии. В большинстве озёр сазан служит объектом любительского рыболовства, поскольку не многочислен. Численность судака в большинстве озер чрезвычайно мала.

Водоемами регулярного промысла, среди окунево-плотвичных озер, являются водоемы Бурлинской системы (около 20 тыс. га), а также озеро Мостовое (3700 га) и Чернаково (760 га), относящееся к Кулундинской системе озер. Потенциальная рыбопродуктивность данных водоемов составляет (по аборигенной ихтиофауне) 50-70 кг/га [4].

Рис. 3. Динамика величины рекомендованного и фактического вылова рыбы в реке Обь в границах Алтайского края с 2009 по 2022 гг.

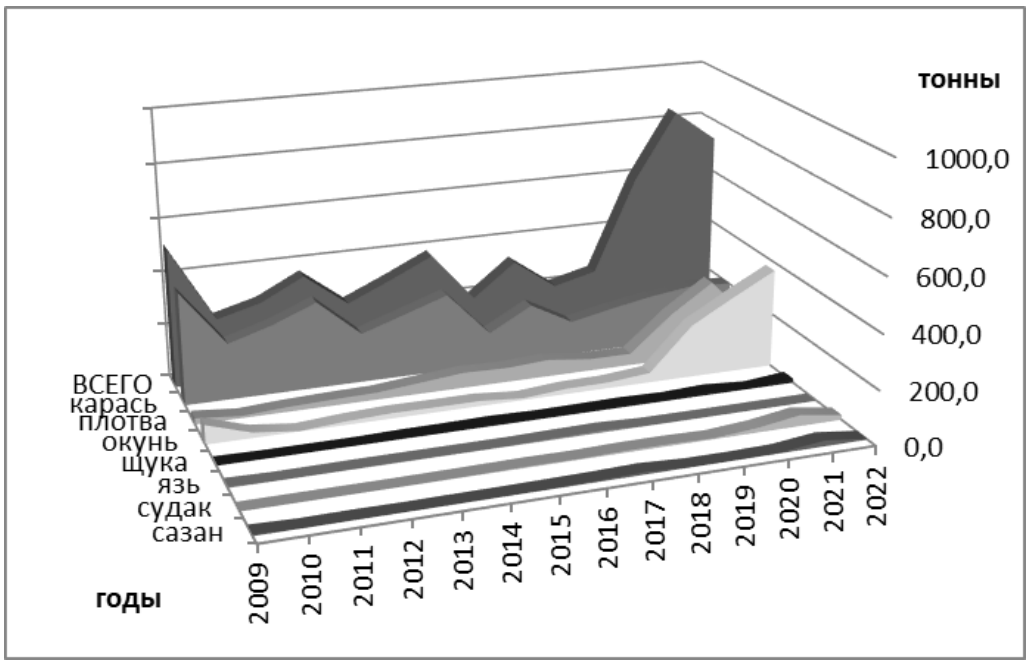


Рис. 4. Динамика вылова промысловых видов рыб в озерах Алтайского края, 2009-2022 гг.

На карасевых озерах регулярная добыча рыбы осуществляется лишь в Верхне-Кулундинских озерах, общей площадью 2100 га. Основной промысловый вид — серебряный карась. Около 20 тыс. га карасевых озер используются промыслом нерегулярно, либо не осваиваются вообще. Для большинства из них характерны ежегодные заморы, моновидовой состав ихтиофауны, отличающейся высокой численностью и тугорослостью. Общий объем вылова рыбы в озерах Алтайского края в 2022 году составил 728,3 т, что на 13,3 % ниже показателя 2021 года.

Основными промысловыми видами для Новосибирского водохранилища в границах Алтайского края (верхняя зона) являются лещ, плотва, карась, щука, язь, судак (рис. 5).

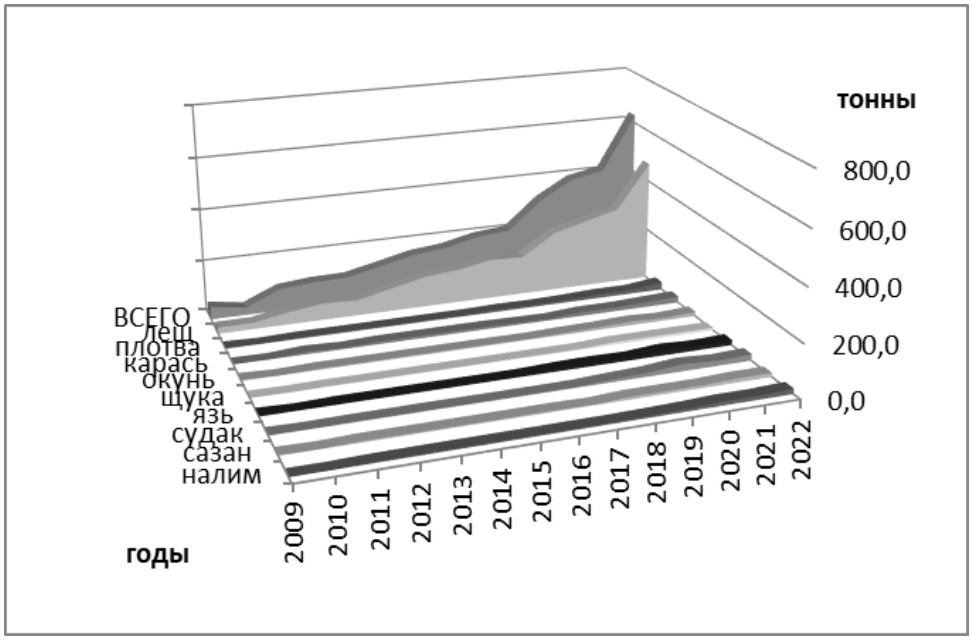


Рис. 5. Динамика вылова промысловых видов рыб в Новосибирском водохранилище (верхняя зона) в границах Алтайского края, 2009-2022 гг.

Величина фактического вылова за период с 2009 по 2022 гг., по официальным данным, стабильно повышалась – от 49,5 (2009 г.) до 629,3 т (2022 г.). Более 70 % вылова приходится на долю леща.

Из обширного фонда малых водохранилищ промыслом осваивается лишь небольшая часть (около 8000 га). Вылов базируется на аборигенной ихтиофауне. Доминирующие виды — плотва, окунь, карась, щука. Виды - акклиматизаторы — лещ и судак распространены незначительно, причем численность последнего, равно как и сазана, зависит от объемов зарыбления.

Следует добавить, что основной проблемой для объективной оценки состояния запасов рыб в Алтайском крае является неучтенное изъятие многих их видов, особенно судака, щуки и сазана. Кроме того, значительно занижается фактический вылов пользователями ресурсов. В структуре уловов отмечено увеличение доли неполовозрелых и впервые нерестующих особей.

Наличие пресса ННН-промысла представляет значительную проблему для объективной оценки состояния запасов рыб, особенно сазана, судака и щуки. Неучтенное изъятие рыбных ресурсов за пределами рационального регулируемого промысла приводит к снижению потенциалов роста, репродуктивности запаса и, в конечном счете, представляет угрозу для самого промысла.

В последние годы отмечается нарастания потребности в увеличении рекомендованных объемов вылова рыбы в бассейне реки Обь и Новосибирском водохранилище. Вместе с тем, на озерных системах отмечается хроническое недоиспользование водных биоресурсов. Причины дефицита объемов вылова в речной системе и недоосвоения их по озерам, в значительной степени, обусловлены качественным составом ихтиофауны. Наблюдается устойчивое снижение доли более ценных промысловых видов в уловах (сазан, судак, щука, налим), которые замещаются менее востребованными карасем, плотвой и окунем. Ихтиофауна подавляющего большинства материковых озер края имеет моновидовой состав ихтиофауны (карась).

Одним из путей решения возникшей проблемы является проведение рыбоводных мероприятий, направленных на увеличение численности видов рыб, востребованных промыслом. В 2020 году Алтайским филиалом ФГБНУ «ВНИРО», на основании проведенных натурных исследований, определены объемы ежегодного вселения молоди в речную систему. Результаты были использованы для формирования ежегодного плана проведения мероприятий по искусственному воспроизводству водных биоресурсов Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна на 2021 - 2023 гг. В качестве первостепенного объекта вселения предлагается использовать наиболее востребованные промысловые виды - сазан и судак, так как при организации промысла их изъятие считается приоритетным. Доля в уловах выбранных видов относительно невелика и по данным промысловой статистики не превышает в сумме 5 % (от вылова по Алтайскому краю).

На большинстве материковых озер Алтайского края необходимо проведение мелиоративного лова малоценных аборигенных видов рыб, противозаморных мероприятий и реконструкции ихтиофауны путем вселения востребованных ценных видов рыб.

Заключение

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что водные объекты Алтайского края имеют высокий рыбохозяйственный статус, а также рыбопродуктивный потенциал, который возможно реализовать только при ведении рационального рыбного хозяйства с использованием всех мер по целенаправленному регулированию экологической обстановки.

Список литературы

1. Атлас пресноводных рыб России. – М.: Наука, – 2003. – Т. 1. – 379 с; Т. 2. – 253 с.

2. *Веснина, Л.В.* Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования / Л.В. Веснина, В.Б. Журавлев, В.А. Новоселов и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1999. – 285 с.
3. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (в ред. от 01.01.2021 г.).
4. *Журавлев, В.Б.* Рыбопродуктивность разнотипных водоемов бассейна Верхней Оби / В.Б. Журавлев, Г.В. Кухаренко, Д.А. Сурков, И.Ю. Теряева //Сборник трудов 65-й Международной научной конференции Астраханского государственного технического университета, Астрахань, 26–30 апреля 2021 года: материалы / Астрахананский государственный технический университет. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2021. – 893 с.
5. Красная книга Алтайского края / АлтГУ. – Барнаул: [Изд-во АлтГУ] – Т.2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных / [науч. ред.: Н. Л. Ирисова, Е. В. Шапетько]. – 2016. – 312 с.
6. *Новоселов, В.А.* Биоресурсный потенциал минерализованных озер Алтайского края: проблемы рационального использования и охраны / В.А. Новоселов // Задачи и проблемы развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах Сибири. – Томск, 1996 а. – С. 31.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР / ред. В. А. Семенова. – Л: Гидрометеорологическое издательство, 1969. –Т. 15. – Вып. 1. – Ч. 1. – 316 с.

Оглавление

СЕКЦИЯ 1. БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИЙ И СООБЩЕСТВ ГИДРОБИОНТОВ 3

РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМЫ ТЕЛА ИНВАЗИОННОГО ЛЕЩА, АБОРИГЕННОЙ ПЛОТВЫ И ИХ ГИБРИДОВ В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФНОГО ВОДОЕМА (СРЕДНИЙ УРАЛ) 3

В.Ю. Баранов.....3

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЧКА ARTEMIA LEACH 1819 В ГИПЕРГАЛИННЫХ ОЗЕРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА КУЛУНДИНСКОЕ В УСЛОВИЯХ АРИДНОСТИ8

Л.В. Веснина, Ю.А. Веснин, М.В. Лассый.....8

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ ЧУЖЕРОДНОГО МОЛЛЮСКА VIVIPARUS VIVIPARUS (LINNAEUS, 1758) В НОВОСИБИРСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Д.Д. Волгина, Е.Н.Крылова.....21

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПИДНОГО ПРОФИЛЯ САМЦОВ И САМОК ОКУНЯ-КЛЮВАЧА (SEBASTES MENTELLA), ОТЛОВЛЕННЫХ В ГРАДИЕНТЕ ГЛУБИН МОРЯ ИРМИНГЕРА (СЕВЕРНАЯ АТЛАНТИКА) В 2019 И 2021 ГГ.

В.П. Воронин, А.Ю. Рольский, Д.В. Артеменков, А.М. Орлов, С.А. Мурзина 26

ДЕВЯТИИГЛАЯ КОЛЮШКА *Pungitius pungitius* L. В БЕЛОМ МОРЕ: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПИЩЕВЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ С ТРЕХИГЛОЙ КОЛЮШКОЙ *Gasterosteus aculeatus* L.

М.В. Иванов, Т.С. Иванова, А.С. Генельт-Яновская, Е.А. Генельт-Яновский, М.А. Медведева, Е.В. Надточий, Н.В. Полякова, К.В. Боева, Д.Л. Лайус 36

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ЛИТОРАЛЬНЫХ ГИДРОБИОНТОВ ОЗ. БАЙКАЛ У ПОС. ТАНХОЙ

Н.А. Кульбачная, М.А. Масленникова, Е.К. Ермолаева, А.В. Лавникова, Л.Б. Бухаева, С.А. Бирицкая, Д.И. Голубец, О.А. Садыкова, И.В. Миловидова, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов 47

ПОЛОВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА И КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ГИСТОПАТОЛОГИЙ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ СИБИРСКОГО ХАРИУСА (THYMALLUS ARCTICUS) р. ХАРАМАТОЛОУ

И.С. Некрасов, А.Ю. Марченко, А.А. Шаврина, Е.И. Калеева.....50

К МОРФОЛОГИИ СИБИРСКОГО ХАРИУСА (THYMALLUS ARCTICUS) ИЗ БАССЕЙНА РЕКИ ВОТМАЕГАН (НИЖНЯЯ ОБЬ)

В.И. Романов, С.Ю. Лаврентьев, Ю.В. Дылдин 56

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА РЕКИ СЕВЕРНАЯ СОСЬВА (ПРИТОК НИЖНЕЙ ОБИ)

Л.А. Семенова, А.А. Мачитова 63

СТРУКТУРНЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОНА И ЗООБЕНТОСА ВОДОЁМОВ РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ЯКУТИИ

Л. И. Сидорова 72

РАЗНООБРАЗИЕ РЫБ НА РАЗНЫХ ГЛУБИНАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

Е.В. Смирнова, О.В. Карамушко.....83

ИХТИОФАУНА ЗАМОРНЫХ ОЗЕР ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Е.Н. Ядренкина 89

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ АЛТАЯ

Л.В. Яныгина.....95

СЕКЦИЯ 2. ВОДНЫЕ БИОРЕСУРСЫ И ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЕ 98

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ СИГА И МУКСУНА НА ПРИМЕРЕ ОБСКОГО МУКСУНА

Н.Д. Гайденок, А.И. Пережилин 98

ИХТИОФАУНА И ОЦЕНКА РЫБОПРОДУКТИВНОСТИ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ Г. КАЗАНИ

А.И. Галеева, Н.М. Мингазова, И.Р. Гильманшин 101

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОЗЕРА МАРЬИНО, Г. КАЗАНЬ

Э.Г. Набеева, Я.К.Камских, Н.М.Мингазова 105

РЕИНТРОДУКЦИЯ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ (SALMO SALAR) В БАССЕЙНЕ РЕКИ РЕЙН: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

А.И. Никифоров, Е.А. Ваизова, Ю.Е. Барышникова 108

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОЛОНОВАТЫХ ОЗЕР ОМСКОЙ ОБЛАСТИ 114

У.В. Пастушенко, Д.Л.Сукнев, Д.И. Наумкина 114

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ БИОПОТЕНЦИАЛА РЫБ В АКВАКУЛЬТУРЕ

А.Г. Селюков, В.П. Елькин, А.Н. Самсонов 117

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЕНСАЦИОННОМ РЫБОВОДСТВЕ

С.А. Селюкова, Е.В. Пищенко 124

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОРЕМЕДИАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ШТАММА *CHLORELLA VULGARIS* GKO

Н. А. Сидорова, А. И. Савушкин, М. А. Унковский 129

СЕКЦИЯ 3. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД В ВОДОЕМАХ

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ МИКРОПЛАСТИКОМ

Л.Б. Бухаева, С.А. Бирицкая, М.А. Масленикова, Я.К. Ермолаева, А.В. Лавникова, И.В. Миловидова, Н.А. Кульбачная, Д.И. Голубец, О.В. Садыкова, К.В Саловаров, А.С Миловидова, В.В. Куликова, К.Г. Рэчилэ, К.К. Рубан, А.Т. Гулигуев, А.В. Глазачева, Д.Ю. Карнаухов, Е.А. Зилов.....136

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЛАБОРАТОРНЫХ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ К СТАНДАРТНОМУ ТОКСИКАНТУ В ПРИРОДНОЙ ВОДЕ РЕКИ МОСКВА С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Е. В. Оганесова, Т. А. Самойлова, Е. С. Дмитриева, Л. А. Духова 140

ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС И КАЧЕСТВО ВОД РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР ВОЛЖСКО-КАМСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

Е.Н. Унковская, М. В. Косова, О.Ю. Деревенская, О.В Палагушкина, Н.В. Шурмина 146

СЕКЦИЯ 4. ИНВАЗИОННЫЕ И ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ РЫБ И ИХ ПРОФИЛАКТИКА

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ГИБЕЛЬ РЫБ ЗАРАЖЁННЫХ *DIGRAMMA INTERRUPTA* (L.) НА ПРИМЕРЕ РЫБ ИЗ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

А.В. Морозко, Е.А. Вялкова, А.В. Абрамов 154

ПАРАЗИТОФАУНА ЩУКИ ОЗ. КУТАРАМАКАН (ПЛАТО ПУТОРАНА) 157

К.В. Поляева.....157

ФАКТОРЫ РИСКА ЗАРАЖЕНИЯ ОПИСТОРХОЗОМ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОБЗОР 162

А.В. Симакова, И.Б. Бабкина, А.М. Бабкин, Н.В. Полторацкая 162

СЕКЦИЯ 5. ТОВАРНОЕ РЫБОВОДСТВО И ВОПРОСЫ ИСКУССТВЕННОГО РЫБОРАЗВЕДЕНИЯ

ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ РЫБ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ОБЬ

Е.А. Интересова 166

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В САДКАХ

И.В. Каменев, А.Ю. Волкова.....178

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОБНОГО БЕЛКА И ВНЖК ПРИ КОРМЛЕНИИ МОЛОДИ СТЕРЛЯДИ В ИНДУСТРИАЛЬНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ 181

М.А Корентович, В.В. Бобров, А.Д. Батршина, П.А. Зенкович, В.Д. Капустин, А.И. Литвиненко.....181

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ТЕМПЫ РОСТА СЕГОЛЕТОК КАРПА

С.В. Кузьмичева.....189

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИПИДОВ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ У РАЗНОРАЗМЕРНОЙ МОЛОДИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ *ONCORHYNCHUS MYKISS* (WALBAUM, 1972) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА РАЗЛИЧНЫХ КОМБИКОРМАХ

Д.И. Манойлова, А.Е. Курицын, С.А. Мурзина 193

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОБИОТИКОВ В АКВАКУЛЬТУРЕ 199

И.В.Морузи, Е.В.Пищенко, Г.В.Калмыкова, Г.А. Ноздрин, С.В. Севастеев, А.И.Михайлов, Д.В.Кропачев, П.В.Белоусов, Н.Н.Разоков, Е.А. Елисеева.....199

ВВЕДЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОЛОДИ АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *Salmo salar* L. ИЗМЕНЯЕТ СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В НАПРАВЛЕНИИ СМОЛТИФИКАЦИИ

Д. С. Провоторов, С. А. Мурзина, В. П. Воронин, А. Е. Курицын, Н. Н. Немова 208

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ ФОНД И ДИНАМИКА УЛОВОВ РЫБЫ В АЛТАЙСКОМ КРАЕ

О.А. Черенков, Д.Г. Елизарьев, Щербаков В.И. 212

Подписано в печать 01.12.2023 г. Формат 60×84 1/8.
Объем 11,5 усл. печ. л
Тираж 100 экз. Заказ №
Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел./факс (383) 267–09–10. E-mail: 2134539@mail.ru