ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ, МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
II Всероссийской научной конференции,
посвященной 90-летию Камчатского филиала
Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии
(4–6 апреля 2022 г., Петропавловск-Камчатский)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
(РОСРЫБОЛОВСТВО)
Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии»
(«КамчатНИРО»)

ВОДНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РОССИИ: СОСТОЯНИЕ, МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
II Всероссийской научной конференции,
посвященной 90-летию Камчатского филиала
Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии
(4–6 апреля 2022 г., Петропавловск-Камчатский)

Научное электронное издание сетевого распространения

КАМЧАТСКИЙ
ФИЛИАЛ
ФГБНУ «ВНИРО»
(«КАМЧАТНИРО»)

УДК 639.2:061.3
ББК 28
В62

В62 **Водные биологические ресурсы России:** состояние, мониторинг, управление. Сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (4–6 апреля 2022 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2022. 247 с. — Научное электронное издание сетевого распространения: Размер файла 37Мб. Систем. требования: Intel; Microsoft Windows (XP, Vista, Windows 7,8,10, Mac OS); разрешение экрана не ниже 1024×768; PDF Reader, мышь.

DOI 10.15853/978-5-902210-44-3
ISBN 978-5-902210-44-3

Сборник трудов II Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Содержит материалы по следующим основным направлениям: воспроизводство и динамика запасов водных биологических ресурсов; методические аспекты мониторинга, оценки и прогнозирования состояния запасов водных биологических ресурсов, стратегии управления промыслом; популяционные и генетические исследования гидробионтов; условия среды обитания и экология гидробионтов; состояние и динамика водных сообществ в условиях возрастающего антропогенного воздействия; болезни гидробионтов и их профилактика; искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов.

УДК 639.2:061.3
ББК 28

Редакционная коллегия:

Главный редактор: Токранов Алексей Михайлович, д. б. н., ТИГ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский)
Члены редколлегии: Базаркина Лидия Анатольевна, к. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Балыкин Павел Александрович, д. б. н., Южный научный центр РАН (Ростов-на-Дону)
Бугаев Александр Викторович, д. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Варкентин Александр Иванович, к. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Дьяков Юрий Петрович, д. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Каев Александр Михайлович, д. б. н., Сахалинский филиал ВНИРО (Южно-Сахалинск)
Карпенко Владимир Илларионович, д. б. н., КамчатГТУ (Петропавловск-Камчатский)
Кириллова Елизавета Алексеевна, к. б. н., Институт проблем экологии и эволюции РАН имени А.Н. Северцова (Москва)
Коваль Максим Владимирович, к. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Коростелев Сергей Георгиевич, д. б. н., ТИГ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский)
Лепская Екатерина Викторовна, к. б. н., Камчатский филиал ВНИРО (Петропавловск-Камчатский)
Орлов Алексей Маркович, д. б. н., Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва)

ISBN 978-5-902210-44-3
© Камчатский филиал ФГБНУ «ВНИРО», 2022

ВВЕДЕНИЕ

В апреле 1932 года в Петропавловске-Камчатском был создан старейший на сегодня на Камчатке научно-исследовательский центр, который сыграл большую роль в промысловом освоении биологических ресурсов Охотского, Берингова морей и прикамчатских вод Тихого океана. Только с созданием этой организации возникла реальная возможность проведения в Северной Пацифике круглогодичных рыбохозяйственных, ихтиологических и гидробиологических исследований, так как появилась научная база для изучения лососей, сельди и других морских промысловых рыб, беспозвоночных и морских млекопитающих. На протяжении многих лет своего существования центр неоднократно претерпевал различные организационные преобразования и менял свои названия: Камчатское отделение ТИРХ, Камчатское отделение ТИНРО, Камчатская станция ВНИРО, снова Камчатское отделение ТИНРО, Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), и сегодня — Камчатский филиал ВНИРО. Даже в труднейшие военные годы его научные сотрудники не прекращали своих исследований, обеспечивавших бесперебойную работу рыбной промышленности. Сегодня, спустя 90 лет, старейшее научное учреждение Камчатки — Камчатский филиал ВНИРО — стало крупным исследовательским центром, специалисты которого продолжают изучение сырьевых ресурсов, биологии и популяционной структуры промысловых видов рыб и беспозвоночных прикамчатских вод Северной Пацифики.

В рамках мероприятий, приуроченных к юбилейной дате, 5–6 апреля 2022 года в Петропавловске-Камчатском состоялась Вторая Всероссийская научная конференция «Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление», посвященная 90-летию Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО) (первая аналогичная конференция прошла осенью 2017 г.). В работе конференции приняли участие не только камчатские ученые, но и специалисты из Владивостока (Тихоокеанский филиал ВНИРО), Хабаровска (Хабаровский филиал ВНИРО), Южно-Сахалинска (Сахалинский филиал ВНИРО), Тюмени (Тюменский филиал ВНИРО), Борка (Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН), Москвы (ВНИИПРХ), Санкт-Петербурга (ГосНИОРХ) и даже Мурманска (Полярный филиал ВНИРО).

На конференцию поступило около 50 материалов от 57 авторов из 26 академических и отраслевых научно-исследовательских институтов и университетов России от Мурманска, Санкт-Петербурга, Москвы, Ростова-на-Дону, Казани, Астрахани и Керчи до Екатеринбурга, Тюмени, Магадана, Петропавловска-Камчатского, Хабаровска, Южно-Сахалинска и Владивостока, что наглядно иллюстрирует географию ее участников. В представленных материалах приведены результаты изучения значительного спектра рыбохозяйственных и гидробиологических проблем нашей страны: от различных методов исследований, которые используются в настоящее время отечественными гидробиологами, ихтиологами и рыбоводами, до морфологических и биологических показателей морских, проходных и пресноводных рыб; рассмотрены многие важные теоретические и практические проблемы современного рыбного хозяйства (например, вопросы изучения и сохранения водных биоресурсов арктической зоны России; состояние и динамика водных сообществ в условиях возрастающего антропогенного воздействия; современные методы оценки запасов различных объектов рыболовства; болезни промысловых видов крабов и выращиваемых лососей; использование молекулярных маркеров для идентификации и выяснения происхождения уникальных популяций гольцов и др.). Участники конференции высоко оценили уровень ее подготовки и проведения, а также тематику и разнообразие представленных на ней докладов, с содержанием которых можно познакомиться в полном объеме в сборнике материалов (электронная версия), размещенном на сайте: kamniro.vniro.ru.

А.М. Токранов, д. б. н.,
главный научный сотрудник Камчатского филиала
Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
председатель Оргкомитета конференции

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Воспроизводство и динамика запасов водных биологических ресурсов

П.А. Балыкин Величина и состав уловов в южных морях России в начале XXI в. 10

Г.Ф. Глазунова, И.Ф. Галанин, А.А. Смирнов, Д.Д. Фёдоров Морфо-биологические показатели густеры *Blicca bjoerkna* Волжского плеса Куйбышевского водохранилища 16

А.В. Зубченко, А.В. Ткаченко, М.Ю. Алексеев, И.В. Самохвалов Новые данные о биологии и численности горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в водоемах Кольского п-ова 21

А.А. Смирнов, О.В. Прикоки Динамика освоения запасов гижигинско-камчатской сельди *Clupea pallasii* в 2012–2021 гг. 27

А.М. Токранов, А.М. Орлов К истории ихтиологических и рыбохозяйственных исследований в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов 31

Н.В. Чечулина, С.В. Ялковский Межгодовая и сезонная динамика запасов хирономид на водоемах Южного Урала в 2015–2020 гг. 37

Ф.М. Шакирова, О.К. Анохина, А.А. Смирнов, Г.Д. Валиева Динамика запасов и состояние воспроизводства водных биологических ресурсов Куйбышевского водохранилища 41

Секция 2. Методические аспекты мониторинга, оценки и прогнозирования состояния запасов водных биологических ресурсов, стратегии управления промыслом

А.И. Буяновский К фильтрации значений промысловых уловов крабов при расчете их стандартизированного годового прироста 46

А.А. Дуленин, В.В. Свиридов, А.В. Харитонов Методические особенности фото- и видеосъемки с помощью подводных роботов в прибрежных исследованиях у морских побережий большой протяженности 54

А.М. Каев, Л.В. Ромасенко, Д.А. Каев К вопросу о росте горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*) как индикаторе возможных изменений выживаемости ее поколений 62

М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко, Е.В. Сыроваткин Гидроакустический мониторинг дальневосточной сардины (*Sardinops melanostictus*) и японской скумбрии (*Scomber japonicus*) в северо-западной части Тихого океана в 2015–2021 гг. 69

Секция 3. Популяционные и генетические исследования гидробионтов

А.Г. Олейник, А.Д. Кухлевский, Л.А. Скурихина Использование молекулярных маркеров для идентификации и выяснения происхождения уникальных популяций гольцов рода *Salvelinus* 77

Е.В. Пономарева, А.А. Волков, Г.А. Макеенко, М.В. Пономарева, Е.А. Шубина Филогеографические линии сибирского хариуса *Thymallus arcticus* (Pallas) на основе фрагмента CO1 мтДНК 83

А.М. Хрусталева Популяционная структура нерки *Oncorhynchus nerka* западного побережья Камчатки 88

Секция 4. Условия среды обитания и экология гидробионтов

И.А. Блохин Бокоплавы (Amphipoda, Gammaridea) мягких грунтов Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в 2021 г. 94

М.Ф. Изиметова Оценка качества воды рыбохозяйственных водоемов Челябинской области 99

О.В. Кириченко, В.В. Лисовская, А.В. Войкина, Л.А. Бугаев Уровень стабильности развития тарани (*Rutilus rutilus*) из разных нерестово-выростных хозяйств Азово-Черноморского бассейна по асимметрии меристических признаков 103

В.В. Коломейцев История океанографических исследований КамчатНИРО в восточной части Охотского моря (район Западной Камчатки) 108

А.Е. Лапшина, Д.С. Заварзин, Н.К. Заварзина, Т.Г. Коренева, Е.С. Корнеев, В.С. Лабай, И.В. Мотылькова, О.Н. Мухаметова Результаты исследования компонентов экосистемы и химического состава вод озера Слонового восточного побережья о. Сахалин в 2020 г., в период его биологической весны 120

А.А. Никитин, И.Л. Цыпышева, Н.М. Мокрин, Е.В. Слободской Формирование благоприятных гидрологических структур в период нагульных миграций тихоокеанского кальмара в Южно-Курильский район по данным спутниковых наблюдений в 2019–2020 гг. 128

М.А. Новиков, Е.А. Горбачева К вопросу о содержании мышьяка в донных рыбах Баренцева моря 135

Л.А. Позолотина, А.В. Климова Уровни содержания металлов у бурой водоросли *Fucus distichus* из Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в 2021 г. 142

Е.В. Сентябов, А.Г. Трофимов Динамика условий среды в морях Европейского Севера в эпоху глобальных климатических изменений 147

В.В. Юрченко, А.А. Морозов Гуминовая кислота способна вызывать отрицательную регуляцию системы комплемента рыб 153

Секция 5. Состояние и динамика водных сообществ в условиях возрастающего антропогенного воздействия

Д.С. Петрушкиева, А.А. Бугаков, С.А. Панфилий, А.М. Панфилий Состояние ихтиофауны Состинских озер Республики Калмыкия 158

А.С. Терентьев Видовое разнообразие зообентоса на различных грунтах в Джарылгачском заливе Черного моря 162

И.Е. Хованский, А.А. Смирнов Проблемы изучения и сохранения водных биоресурсов Арктической зоны Российской Федерации 171

Секция 6. Болезни гидробионтов и их профилактика

В.В. Гончарова, Е.А. Устименко, Г.Д. Якушева Скрининг молоди кижуча (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) на Вилюйском ЛРЗ на наличие условно-патогенной микрофлоры 179

Е.Н. Кобернюк Гистологические изменения у звездчатой камбалы *Platichthys stellatus* Авачинской губы 185

Г.А. Романенко, И.Ю. Теряева, С.А. Осипов, Д.Г. Елизарьев Результаты рыбохозяйственного обследования реки Обь в границах Алтайского края (по материалам экспедиции 2021 г.) 190

С.Л. Рудакова, Ю.П. Щелкунова, Ю.А. Новоселова, С.А. Рекордатова, И.Ю. Кропочева Предварительные результаты по использованию йодинола для профилактики инфекционного некроза гемопоэтической ткани у радужной форели (экспериментальные данные) 195

Т.В. Рязанова Поражения гепатопанкреаса у промысловых крабов прикамчатских вод при заболеваниях разной этиологии 200

Е.А. Устименко, В.В. Гончарова, Г.Д. Якушева Микробиота кишечника тихоокеанских лососей на ЛРЗ Камчатки: перспективы исследований 207

Секция 7. Искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов

Е.И. Кальченко, С.Б. Городовская, А.П. Горбань, Н.Г. Винник, А.А. Попков Причины снижения скорости роста молоди кижуча на экспериментальном Паратунском лососевом рыбоводном заводе (Юго-Восточная Камчатка) в 2019 году 211

А.А. Лютиков, А.Е. Королев, А.К. Шумилина, М.М. Вылка Опыт выращивания ремонтно-маточного стада судака (*Sander lucioperca*) в садках в Ленинградской области 219

В.Г. Самарский Особенности индивидуальных темпов резорбции желточного мешка, роста массы и длины тела у свободных эмбрионов и личинок кеты (*Oncorhynchus keta*) 227

С.М. Семенченко, Н.В. Смешливая Устойчивость личинок и мальков тугуна *Coregonus tugun* и нельмы *Stenodus leucichthys nelma* к воздействию высоких температур 235

Н.В. Смешливая, С.М. Семенченко Использование ализарина красного при мечении эмбрионов и личинок сиговых рыб 240

CONTENTS

Section 1. Stock abundance and reproduction of aquatic biological resources

Pavel A. Balykin Values and composition of the catches in the southern seas of Russia in the beginning of XXI century 10

Gloria F. Glazunova, Igor F. Galanin, Andrey A. Smirnov, Dias D. Fyodorov Morpho-biological indicators of the silver bream *Blicca bjoerkna* of the Volga River open water reach of the Kuybyshev water reservoir 16

Aleksandr V. Zubchenko, Artyom V. Tkachenko, Maksim Yu. Alekseev, Igor V. Samohvalov New data on the biology and abundance of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in the waters of the Kola Peninsula 21

Andrey A. Smirnov, Oleg V. Prikoki Dynamics of resource development of Gizhigin-Kamchatka herring *Clupea pallasii* in 2012–2021 27

Alexey M. Tokranov, Alexey M. Orlov To the history of ichthyological and fisheries researches in the Pacific waters off South-Eastern Kamchatka and Northern Kuril Islands 31

Natalia V. Chechulina, Sergey V. Yalkovsky Interannual and seasonal dynamics of chironomid stocks in the reservoirs of the Southern Urals in 2015–2020 37

Firdauz M. Shakirova, Olga K. Anokhina, Andrey A. Smirnov, Guzel D. Valieva Stock abundance dynamics and state of reproduction of aquatic biological resources of the Kuybyshev water reservoir 41

Section 2. Methodical aspects of monitoring, assessment and forecasting of the state of stocks of aquatic biological resources, strategies of fishery management

Alexey I. Buyanovsky On filtering the crab commercial catches values to assess their normalized annual increment 46

Alexander A. Dulenin, Vladimir V. Sviridov, Alexander V. Kharitonov Methodological details of photo and video surveys by means of rovs during examination of long marine coastlines 54

Alexander M. Kaev, Larisa V. Romasenko, Danil A. Kaev To the question about the growth of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) as an indicator of possible changes in the survival of its generations 62

Mikhail Yu. Kuznetsov, Vladimir I. Polyanichko, Eugeniy V. Syrovatkin Hydroacoustic monitoring of japanese pilchard (*Sardinops melanostictus*) and chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Pacific Northwest in 2015–2021 69

Section 3. Population and genetic researches of hydrobionts

Alla G. Oleinik, Andrey D. Kukhlevsky, Lubov A. Skurikhina The use of molecular markers for identification and figuring out the origin of unique populations of *Salvelinus* 77

Ekaterina V. Ponomareva, Alexander A. Volkov, Galina A. Makeenko, Mariia V. Ponomareva, Elena A. Shubina Phylogeographic lineages of Siberian grayling *Thymallus arcticus* (Pallas) based on the mtDNA CO1 fragment 83

Anastasiya M. Khrustaleva Population structure of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* on the west coast of Kamchatka 88

Section 4. Ecology of hydrobionts and habitat conditions

Ivan A. Blokhin Amphipods (Gammaridea) of soft substrates of Avacha Bay (South-Eastern Kamchatka) in 2021 94

Mariya F. Izimetova Water quality assessment of the fishery water bodies of the Chelyabinsk Region 99

Olga V. Kirichenko, Viktoria V. Lisovskaya, Anna V. Voykina, Leonid A. Bugaev Development stability level of roach *Rutilus rutilus* from different spawning-nursery farms of the Azov - Black Sea basin by the asymmetry of meristic signs 103

Vladimir V. Kolomeytsev The history of oceanographic researches of KamchatNIRO in the eastern part of the Sea of Okhotsk 108

Anna E. Lapshina, Denis S. Zavarzin, Natalija K. Zavarzina, Tatiana G. Koreneva, Egor S. Korneev, Vjacheslav S. Labay, Irina V. Motylkova, Olga N. Moukhametova Results of studying ecosystem components and water chemical composition of the Lake Slonovoe (East Sakhalin) in 2020 during its biological spring 120

Aleksander A. Nikitin, Irina L. Tsypysheva, Nikolay M. Mokrin, Evgeniy V. Slobodskoy Formation of favorable hydrological structures during feeding migrations of Japanese Flying squid into the South Kuril region based on satellite observations in 2019–2020 128

Mikhail A. Novikov, Elena A. Gorbacheva On the concentration of arsenic in demersal fishes of the Barents Sea 135

Liliya A. Pozolotina, Anna V. Klimova Levels of metal concentrations in the brown algae *Fucus distichus* from Avacha Bay (South-Eastern Kamchatka) in 2021 142

Evgeniy V. Sentyabov, Alexander G. Trofimov Dynamics of environmental conditions in the Northern Europe Seas in the age of global climate changes 147

Victoria V. Yurchenko, Alexey A. Morozov Humic acid can cause down-regulation of complement system proteins in fish 153

Section 5. State and dynamics of aquatic communities in terms of growing anthropogenic influence

Delgir S. Petrushkieva, Aleksey A. Bugakov, Svetlana A. Panfiliy, Andrey M. Panfiliy State of the ichthyofauna of Sostinskie Lakes in the Republic of Kalmykia 158

Alexander S. Terentev Species diversity of zoobenthos on various bottom substrates in the Dzharylhach Bay of the Black Sea 162

Igor E. Khovansky, Andrey A. Smirnov Arctic zone of the Russian Federation: study and conservation of aquatic biological resources 171

Section 6. Diseases of hydrobionts and prevention

Valentina V. Goncharova, Elena A. Ustimenko, Galina G. Yakusheva Screening of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch* Walbaum) at the Vilyuiskiy salmon hatchery for the presence of secondary microflora 179

Elizaveta N. Kobernyuk Histological changes in the starry flounder *Platichthys stellatus* of the Avacha Bay 185

Georgy A. Romanenko, Irina Yu. Teryaeva, Sergey A. Osipov, Denis G. Elizariev Results of fisheries research of the upper Ob, Altay Territory (based on the materials of the expedition 2021) 190

Svetlana L. Rudakova, Ulia P. Schelkunova, Ulia A. Novoselova, Svetlana A. Recordatova, Irina U. Kropocheva Preliminary results of the iodinol use for prevention of infectious hematopoetic necrosis in rainbow trout (experimental data) 195

Tatyana V. Ryazanova Pathology of hepatopancreas of different etiologies in commercial crabs of Kamchatka waters: clinical and histological features 200

Elena A. Ustimenko, Valentina V. Goncharova, Galina D. Iakusheva Intestinal microbiota of pacific salmon in Kamchatka hatcheries: prospects for research 207

Section 7. Artificial reproduction of aquatic biological resources

Elena I. Kalchenko, Sofia B. Gorodovskaya, Andrey P. Gorban, Natalya G. Vinnik, Aleksandr A. Popkov Causes of a decrease in the growth rate of juvenile coho salmon at the experimental salmon hatchery Paratunsky (South-East Kamchatka) in 2019 211

Anatoly A. Lyutikov, Alexander E. Korolev, Alla K. Shumilina, Maksim M. Vylka Experience of cultivation pikeperch (S*ander lucioperca*) broodstock in cages in the Leningrad Region (Russia) 219

Vladimir G. Samarsky Peculiarities of individual rates of the yellow sac resorption, body length and weight growth in free embryos and larves of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) 227

Sergey M. Semenchenko, Natalya V. Smeshlivaya Resistance of larves and fry of *Coregonus tugun* and *Stenodus leucichthys nelma* to effects of high temperatures 235

Natalya V. Smeshlivaya, Sergey M. Semenchenko Marking of whitefish embryos and larvae with alizarin red ... 240

1 2 3 4 5 6 7

Воспроизводство и динамика запасов водных биологических ресурсов

Методические аспекты мониторинга, оценки и прогнозирования состояния запасов водных биологических ресурсов, стратегии управления промыслом

Популяционные и генетические исследования гидробионтов

Условия среды обитания и экология гидробионтов

Состояние и динамика водных сообществ в условиях возрастающего антропогенного воздействия

Болезни гидробионтов и их профилактика

Искусственное воспроизводство водных биологических ресурсов

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

УДК 639.2(262.5+262.81)

ВЕЛИЧИНА И СОСТАВ УЛОВОВ В ЮЖНЫХ МОРЯХ РОССИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Павел Александрович Балыкин

Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук (ЮНЦ РАН), Ростов-на-Дону, Россия, balykin.pa@rambler.ru

Аннотация. Выполнен анализ динамики величины и состава российских уловов в Азовском, Черном и Каспийском морях в начале 21 столетия. Показано, что уловы уменьшаются при одновременном увеличении в них доли собственно морских рыб.

Ключевые слова: рыболовство, Азовское море, Черное море, Каспийское море

Благодарности: работы выполнены с использованием УНУ «МУК» ЮНЦ РАН и Биоресурсной коллекции редких и исчезающих видов рыб ЮНЦ РАН № 73602 в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН «Оценка современного состояния, анализ процессов формирования водных биоресурсов южных морей России в условиях антропогенного стресса и разработка научных основ технологии реставрации ихтиофауны, сохранения и восстановления хозяйственно ценных видов рыб», № госрегистрации 01201354245.

VALUES AND COMPOSITION OF THE CATCHES IN THE SOUTHERN SEAS OF RUSSIA IN THE BEGINNING OF XXI CENTURY

Pavel A. Balykin

Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia, balykin.pa@rambler.ru

Abstract. Dynamics of the size and composition of Russian catches in the Azov, Black and Caspian Seas in the 21st century was analysis. The analysis revealed a decrease of the catches along with an increase of the contribution of marine fish species.

Keywords: fishery, Azov Sea, Black Sea, Caspian Sea

Acknowledgments: the work was carried out using the UNU “MPK” SSC RAS and the Bioresource Collection of Rare and Endangered Fish Species of the SSC RAS No. 73602 as part of the implementation of the State Budget of the SSC RAS “Assessment of the current state, analysis of the processes of formation of aquatic biological resources of the southern seas of Russia under anthropogenic stress and development of scientific foundations of technology restoration of the ichthyofauna, conservation and restoration of economically valuable fish species”, state registration number 01201354245.

Общей чертой южных морей России является почти полная изолированность от Мирового океана, которая обуславливает повышенную зависимость их режима и биопродуктивности от климатообразующих процессов в атмосфере (Гаргопа, 2003, 2012). Еще в 1991 г. экологическое состояние Азовского, Черного, Каспийского морей расценивалось как неблагополучное (Обзор экологического состояния морей.., 1992). Из всех видов антропогенного воздействия на морские экосистемы наиболее древним следует считать рыболовство, которое в бассейнах Каспийского, Азовского и Черного морей началось одновременно с заселением этих территорий человеком (Кругова, Лукьяшко, 2007; Иванов, Комарова, 2008). Еще в первой половине XX века южные моря были «рыбной житницей» России. Уловы в Азовском море в некоторые годы превышали 300 тыс. т, в Каспийском — иногда были больше 600 тыс. т. Еще 100–150 тыс. т рыбы ежегодно добывали в Черном море. Таким образом, суммарный улов в южных морях России в иные годы приближался к 1 млн т. Современные уловы почти на порядок меньше и в 2018–2020 гг. составляли 142–150 тыс. т (69–74 тыс. т — Азово-Черноморский бассейн, 68–81 тыс. т — Волго-Каспийский) при суммарном годовом улове российских рыбаков более 5 млн т (Статистические сведения.., 2021). Т. е. вклад бассейнов южных морей России в ежегодную добычу водных биоресурсов равен приблизительно 3%. По информации с официального сайта

МСХ РФ, еще 71–78 тыс. т товарной рыбы выращивается предприятиями аквакультуры Южного федерального округа. При современном состоянии рыбохозяйственного комплекса потребности населения в рыбной продукции за счет местного производства удовлетворяются менее чем наполовину (Балыкин и др., 2014). Прежде чем предлагать меры по увеличению объема выпускаемой рыбопродукции, следует охарактеризовать современное состояние рыболовства. Описание изменений российских уловов в южных морях в начале XXI века и явилось целью наших исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Использовались опубликованные данные о составе уловов в южных морях (Луц и др., 2004; Иванов, Комарова, 2008; Куманцов и др., 2012; Забалуева и др., 2015; Статистические сведения.., 2021), а также информация, доступная на официальном сайте Росрыболовства (форма П-1 «Рыба»). При обработке данных использовали пакет прикладных программ для ПК Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Органами государственной власти России сведения о вылове водных биоресурсов суммируются по рыбохозяйственным бассейнам (Макоедов, 2014).

Черное и Азовское моря

Официальные данные о промысле на сайте Росрыболовства (форма 1-П «Рыба») содержат информацию об уловах в Черном и Азовском морях. Изменения величины уловов в текущем столетии показаны на рис. 1. Добыча в Черном море варьировала от 11,3 тыс. до 74 тыс. т. В последние три года этот показатель упал до уровня менее 50 тыс. т в год (рис. 1). Столь значимые изменения величины вылова могут объясняться динамикой его состава. Для проверки этого предположения использовали данные о составе черноморских уловов в 2001–2003 гг. (Луц и др., 2004), в 2009–2011 гг. (Куманцов и др., 2012) и в 2018–2020 гг. (Статистические сведения.., 2021) (рис. 2). При этом выявлена смена доминирующих видов. Доля шпрота за исследуемый период уменьшилась более чем в два раза, тогда как вклад хамсы увеличился почти на тот же показатель. Из других отличий следует указать на 3-кратное возрастание добычи барабули (до 560–1100 т в год), почти полное исчезновение мерланга и пиленгаса (менее 1 т) и заметное увеличение уловов ставриды (чуть менее 2000 т в год) и черноморских кефалей (224–270 т) в 2018–2020 гг. Данные результаты соответствуют изменениям видового состава и численности ихтиопланктона, характеризующимся увеличением доли ранних стадий летненерестующих

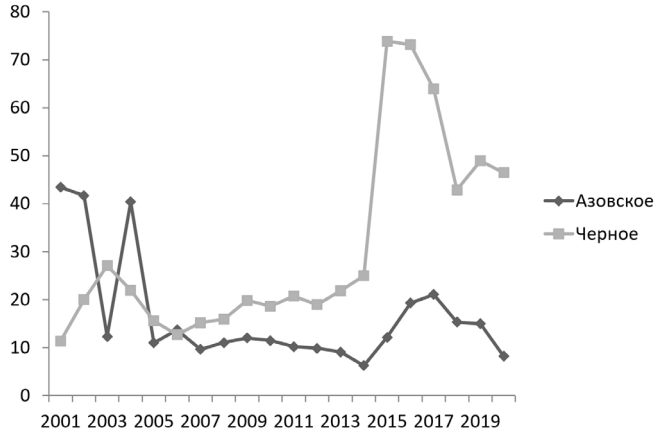

Рис. 1. Российские уловы в Черном и Азовском морях (тыс. т)
Fig. 1. Russian catches in the Black and Azov Seas (thous. t)

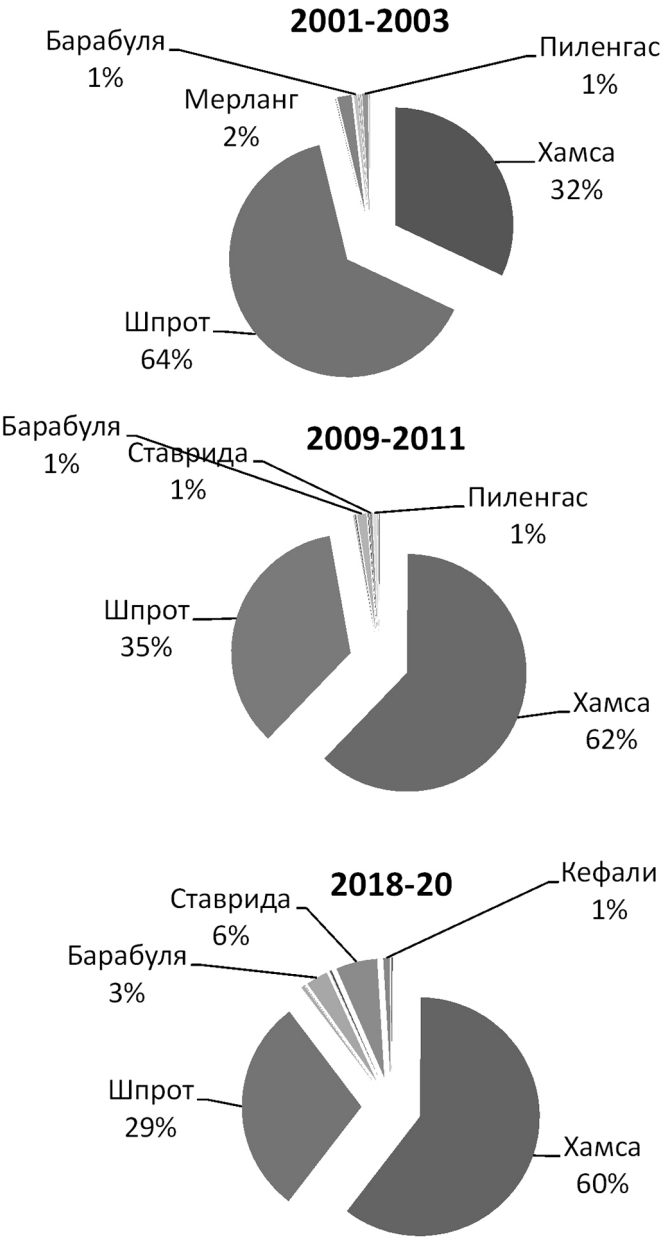

Рис. 2. Видовой состав российских уловов в Черном море в разные годы XXI столетия
Fig. 2. Species composition of russian catches in the Black Sea in different years of the XXI century

теплолюбивых рыб, таких как хамса и ставрида, вследствие улучшения условий для их воспроизводства в XXI веке (Надолинский, Надолинский, 2018). Увеличение урожайности хамсы и снижение численности шпрота отмечают и другие исследователи (Дроздов, 2011; Пятинский и др., 2020).

Рыболовство в Азовском море осуществляется Россией и Украиной. За прошедшие годы текущего столетия (2001–2020 гг.) российские уловы изменялись, согласно данным с сайта Росрыболовства, от 6,3 до 43,4 тыс. т в год (рис. 1). Наибольший вылов (свыше 40 тыс. т) отмечен в начале XXI века. В последнее время годовые уловы не достигают и 20 тыс. т.

Для выявления возможных изменений в ихтиофауне рассчитано соотношение разных видов по массе в общем улове для тех же лет, что и в Черном море (рис. 3). С начала века существенно возросла доля бычков (с 5 до 42%), тогда как вклад тюльки сократился с более чем 60 до 37%, а тарани и карася в сумме — возрос до уровня 10% (рис. 3). Доля пиленгаса снизилась до нескольких процентов вследствие нерациональной эксплуатации его запасов (Балыкин, Старцев, 2017). Промысловая значимость группы «прочие морские рыбы» (кефали, барабуля, ставрида) в последние годы стала заметной в составе промысловых уловов: порядка 400 т, или 3% (рис. 3). Уловы проходной черноморско-азовской сельди также преодолели отметку 100 т в год.

Кроме того, в Черном и Азовском морях резко увеличилась численность медуз. Так, в июне 2018 г. в юго-восточной части Черного моря их уловы составляли от 20 до 100 кг за траление (Бухмин, 2019), а суммарная биомасса этих кишечнополостных животных в Азовском море — не менее 4,5 млн т (https://fishnews.ru/news/43331). Поскольку медузы являются пищевыми конкурентами планктоноядных рыб, их влияние на формирование запасов таковых негативно.

Таким образом, состав уловов в Черном и Азовском морях в начале текущего столетия заметно изменился, что подразумевает соответствующие изменения условий внешней среды.

Главными причинами изменения ихтиофауны Черного и Азовского морей считаются антропогенное воздействие, вселение новых видов, рыболовство, а также влияние крупномасштабных климатических и связанных с ними океанологических и гидрологических процессов на показатели урожайности промысловых рыб (Гаргопа, 2003; Дроздов, 2011; Zaitsev et al., 2002). Из глобальных климатических процессов одним из самых известных и обсуждаемых является потепление, которое, по данным инструментальных наблюдений, наиболее ярко выражено в последние 35 лет (Торопов и др., 2018). В Азово-Черноморском регионе глобальное потепление тоже находит свои проявления (Рыбак, Рыбак, 2013). Установлено, что потепление поверхности Черного и Азовского морей в 1982–2009 гг. происходило в среднем на 0,06 °С/год (Гинзбург и др., 2011). Изменение климата в Азово-Черноморском регионе реализуется в основном за

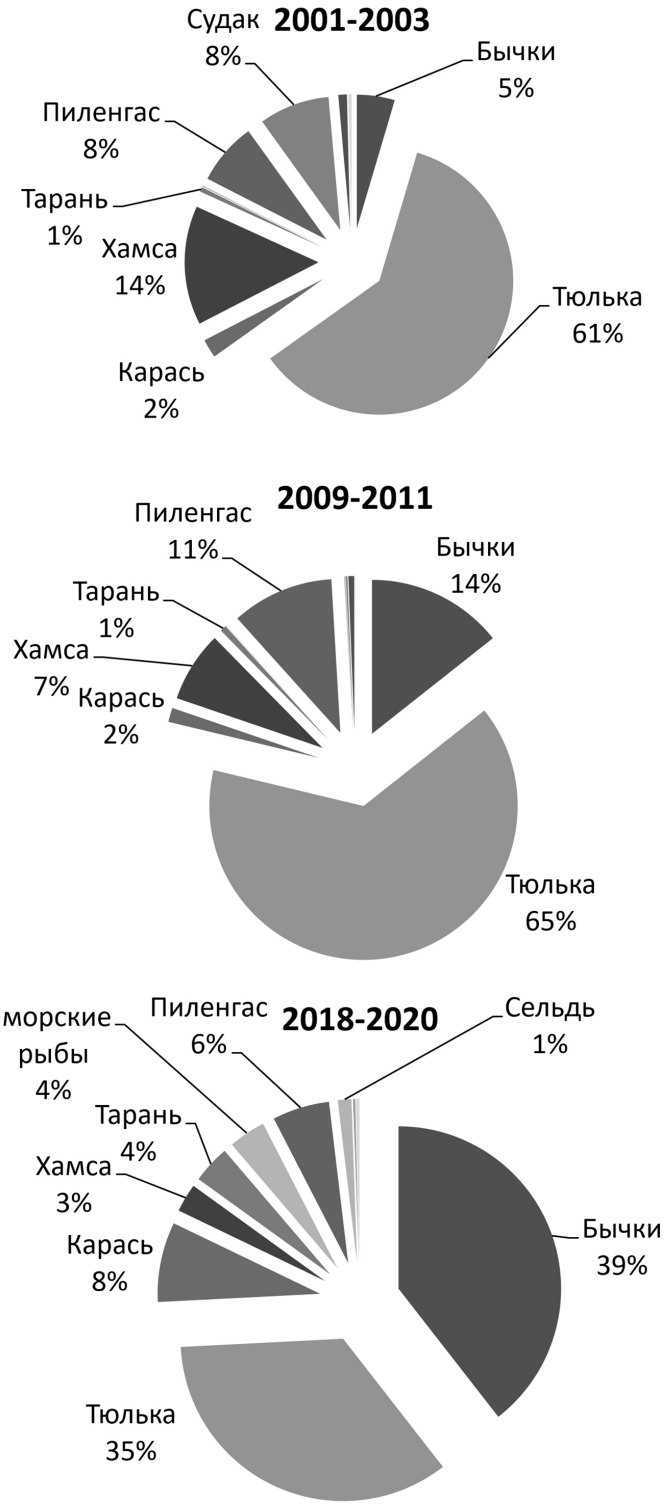

Рис. 3. Видовой состав российских уловов в Азовском море в разные годы XXI столетия
Fig. 3. Species composition of russian catches in the Azov Sea in different years on the XXI century

счет летнего сезона, в течение которого по всей его территории отмечается статистически значимый положительный тренд температуры, достигающий 1 °С/10 лет (Торопов и др., 2018). Так, в районе Сухуми средняя температура черноморских вод в июле увеличилась с 1994 по 2016 г. на 2,2° (Дбар и др., 2018).

Соленость воды в значительной мере определяет состояние биотических компонентов экосистем Черного и Азовского морей (Гаргопа, 2003). С 2006 г., по данным ЮНЦ РАН, наблюдается очередное повышение солености Азовского моря. К 2015 г. средний показатель увеличился с 11 до 12,8‰. В 2018 г. соленость составила уже свыше 14‰ (Бердников и др., 2019), а на некоторых участках достигала 15‰ (Григоренко и др., 2019), что очень близко к значениям солености Черного моря (17–18‰). С 2010 г. отмечено и прекращение периода пониженной солености в Черном море (Экологический атлас.., 2019).

Каспийское море

Каспийское море — крупнейший в мире солоноватоводный замкнутый бессточный водоем, окруженный территориями пяти стран: Ирана, Азербайджана, России, Казахстана и Туркмении. Российские уловы в начале XXI в. изменялись от 68,6 (2001) до 23,2 (2008) тыс. т (рис. 4), или около 1,5% суммарного годового улова, и состоят из рыб нескольких экологических групп: морские (кильки, сельди, кефали), пресноводные (линь, карась, сом, щука, окунь и др.), проходные (осетровые, белорыбица, сельдь-черноспинка) и полупроходные (лещ, вобла, судак и др.). Было изучено соотношение перечисленных групп рыб в уловах в 2001–2005, 2011–2015 и 2016–2020 гг. (рис. 5). Проходные рыбы (осетровые) практически исчезли из промысла. Вылов морских рыб резко упал из-за коллапса запасов килек (Седов и др., 2002), однако в последние годы заметно увеличился (с 3,8 до 16,5%). Вклад полупроходных рыб оставался на уровне приблизительно ⅓ улова; заметно выросла промысловая значимость пресноводных рыб (с 29 до 49%).

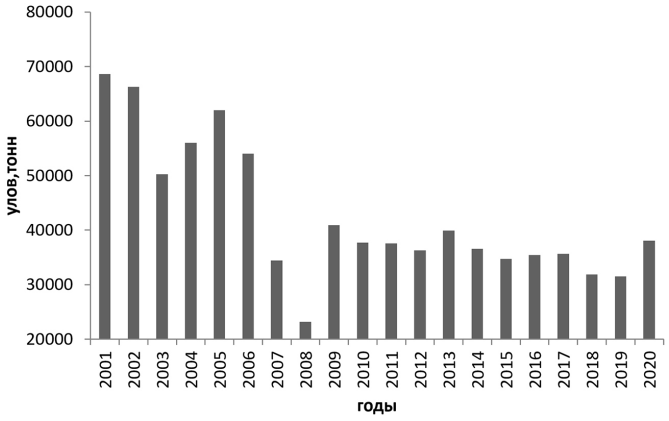

Рис. 4. Российские уловы в Каспийском море (т)
Fig. 4. Russian catches in the Caspian Sea (t)

Для более полного представления об изменениях видового состава уловов рассмотрим динамику добычи некоторых видов (рис. 6). Из морских рыб в исследуемый период по сравнению с 2000-м годом сократились уловы килек и сельдей, однако в 2019–2020 гг. добыча этих рыб заметно увеличилась (рис. 6) вследствие подключения к освоению морских рыб Каспия рыбаков из других российских регионов, поскольку добыча этих рыб ограничивается не их малой численностью, а нехваткой специализированного флота. Кефалей стали добывать в десятки раз больше, в последние годы наблюдается изъятие более 500 т ежегодно, что объясняется внедрением в промысел (2008 г.) высокоэффективных орудий лова — обкидных сетей (Васильева и др., 2016). Уловы массовых полупроходных рыб снизились по сравнению с на-

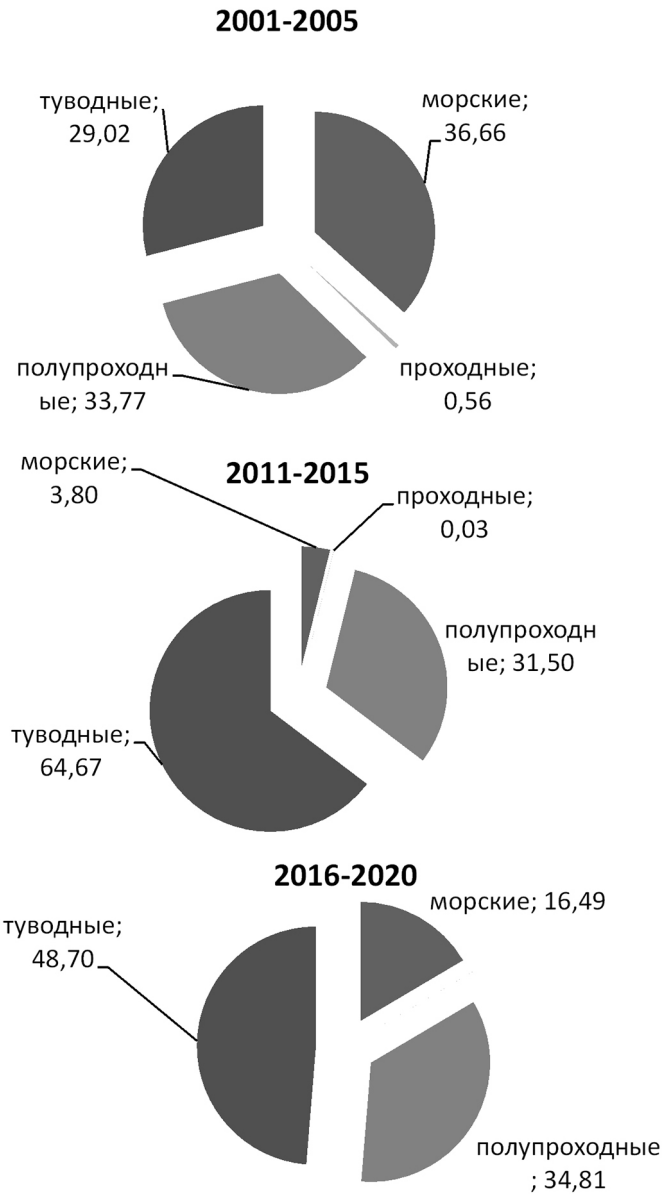

Рис. 5. Состав российских уловов в Каспийском море в разные годы XXI столетия
Fig. 5. The composition russian catches in the Caspian Sea in different years of the XXI century

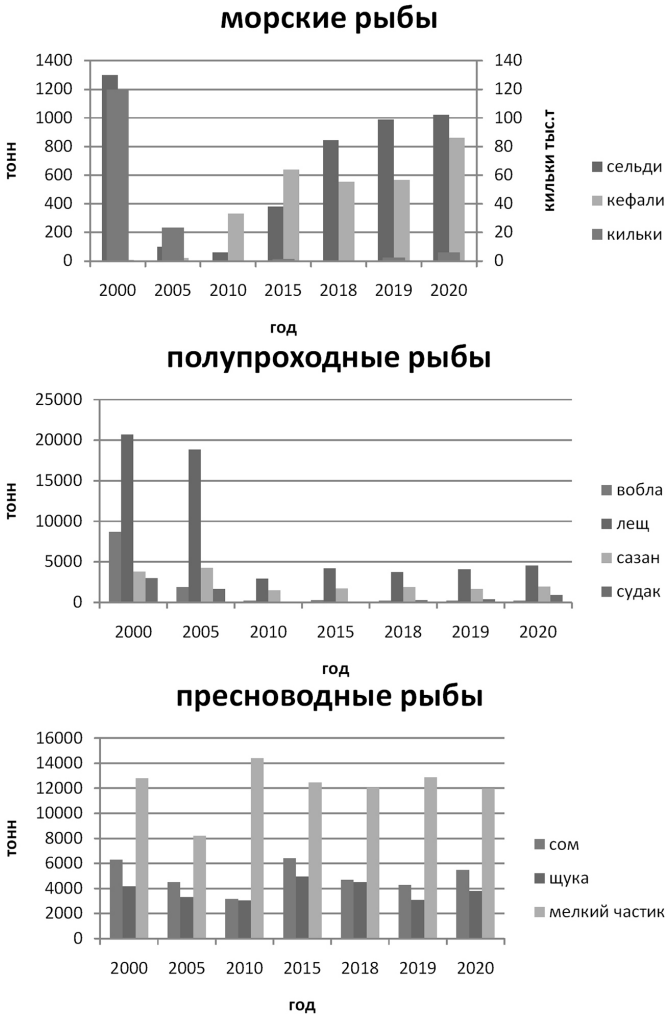

Рис. 6. Динамика уловов рыб (групп рыб) разных экологических групп в XXI веке
Fig. 6. The dynamics of the catches of fish (or fish groups) of different ecological groups in the XXI century

чалом XXI в. (рис. 6). Причиной тому эксперты называют систематическое несоблюдение пропусков воды в период весеннего нереста и незаконный промысел. Относительно стабильными оставались лишь уловы пресноводных рыб.

Наиболее известными и часто используемыми показателями состояния вод Каспийского моря являются его уровень, величина годового стока Волги, обеспечивающей порядка 80% поступления речных вод, и объем ее весеннего паводка (Гидрометеорология.., 1992). Положение уровня моря является интегральной характеристикой, характеризующей состояние запасов рыб (Каспийское море.., 2009). В настоящее время уровень Каспия стабилизировался на значении возле минус 28 м. Понятно, что при понижении уровня соленость увеличивается, при повышении уменьшается. Максимальных значений соленость вод Каспия достигает в период минимального положения уровня. Средняя соленость Северного Каспия в периоды опреснения составляет 7–8‰, а в периоды осолонения — 9–11‰ (Яицкая, 2012).

По мнению специалистов, современные тенденции (увеличение температуры воздуха, прирост солнечной радиации, уменьшение осадков) в обозримом будущем сохранятся (Доклад.., 2021). Соответственно, можно сделать вывод, что ресурсы морских рыб Каспийского моря (кильки обыкновенной, сельдей, кефалей и др.) будут находиться в удовлетворительном состоянии или даже расти (в зависимости от развития промысла), а ресурсы полупроходных и пресноводных рыб — сокращаться.

Таким образом, в начале текущего столетия значимость южных морей России, как районов промышленного рыболовства, остается небольшой (по результатам 2018–2020 гг. — примерно 3% суммарного улова). Наблюдается увеличение доли в уловах собственно морских рыб, воспроизводство и формирование запасов которых в меньшей степени зависит от уменьшения стока рек и других проявлений антропогенной трансформации экосистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Состав промысловых уловов демонстрирует изменения, происходящие в ихтиофауне южных морей России. Очевидно, что потепление черноморских вод и осолонение азовских и каспийских привело к улучшению воспроизводства морских видов и, соответственно, к увеличению их значимости для рыболовства. Поэтому предприятиям рыбохозяйственной отрасли можно рекомендовать добычу морских и солоноватоводных рыб, а также развитие разных видов аквакультуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Балыкин П.А., Пономарева Е.Н., Пономарев С.В. 2014. Современное состояние производства рыбы в южных регионах России / Рац. использ. и сохранение водных биоресурсов: Матер. междунар. науч. конф. Ростов н/Д.: ЮНЦ РАН. С. 134–136.

Балыкин П.А., Старцев А.В. 2017. Некоторые особенности биологии пиленгаса в Таганрогском заливе // Тр. ВНИРО. Т. 166. С. 72–80.

Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Кулыгин В.В. 2019. Климатические условия и гидрологический режим Азовского моря в XX – начале XXI вв. // Водн. биоресурсы и среда обитания. Т. 2, № 2. С. 7–19.

Бухмин Д.А. 2019. Ихтиофауна юго-восточной части Черного моря в летне-осенний период 2018 г. // Наука Юга России. Т. 15. № 4. С. 88–93.

Васильева Т.В., Шипулин С.В., Канатьев С.В., Ткач В.Н., Лепилина И.Н., Калмыков В.А., Власенко А.Д., Булгакова Т.И. 2016. Современное состояние сырьевой базы и ее использование промыслом в Южном рыбохозяйственном районе Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна // Тр. ВНИРО. Т. 160. С. 26–40.

Гаргопа Ю.М. 2003. Крупномасштабные изменения гидрометеорологических условий формирования биопродуктивности Азовского моря: Автореф. дис. … д-ра геогр. наук. Мурманск: ММБИ. 51 с.

Гаргопа Ю.М. 2012. Климатические изменения экосистем южных морей в условиях антропогенного воздействия // Матер. VII Междунар. конф. «Современные рыбохозяйственные и экологиче-

ские проблемы Азово-Черноморского региона». Керчь: ЮгНИРО. Т. 1. С. 219–225.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. 1992. Т. VI. Каспийское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / СПб.: Гидрометеоиздат. 359 с.

Гинзбург А.И., Костяной А.Г., Шеремет Н.А. 2011. Черное и Азовское моря: сравнительный анализ изменчивости температуры поверхности (1982–2009 гг., спутниковая информация) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8, № 4. С. 208–218.

Григоренко К.С., Олейников Е.П., Григоренко Е.Г. 2019. Влияние половодья Дона 2018 г. на термохалинную структуру Азовского моря // Наука Юга России. Т. 15, № 3. С. 63–69.

Дбар Р.С., Гицба Я.В., Экба Я.А. 2018. Термический режим поверхностного слоя вод и окислительные процессы в прибрежной зоне сухумской акватории Черного моря // Наука Юга России. Т. 14, № 4. С. 53–60.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. М.: Росгидромет. 104 с.

Дроздов В.В. 2011. Многолетняя изменчивость рыбопромысловых ресурсов Черного моря: тенденции, причины и перспективы // Ученые записки РГМУ. № 21. С. 137–154.

Забалуева А.И., Камышникова Т.В., Никитина А.В., Однохорова М.А., Хачунц Д.С. 2015. Моделирование динамики численности биоресурсов Азовского моря // Электрон. журнал “Novainfo”. № 35. https://novainfo.ru/article/?nid=3722.

Иванов В.П., Комарова Г.В. 2008. Рыбы Каспийского моря. Астрахань: АГТУ. 224 с.

Кругова М.К., Лукьяшко С.И. 2007. Рыбный промысел и рыболовство на Нижнем Дону и в Восточном Приазовье в древности // Экосистемные исследования Азовского, Черного, Каспийского морей и их побережий. Т. IX. ММБИ и ЮНЦ РАН. Апатиты. С. 160–164.

Куманцов М.И., Кузнецова Е.Н., Лапшин О.М. 2012. Комплексный подход к организации российского рыболовства на Черном море // Электрон. журнал «Современные проблемы науки и образования», № 5. http://www.science-education.ru/

Каспийское море. О влиянии экологических изменений на биоразнообразие и биопродуктивность. 2009. Астрахань: ООО «КПЦ «Полиграфком». 404 с.

Луц Г.И., Надолинский В.П., Дахно В.Д., Рогов С.Ф., Кузнецов С.А., Филатов О.В. 2004. Состояние ихтиофауны и сырьевая база промысла на черноморском шельфе России в современный период / Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна (2002–2003 гг.). Ростов н/Д: Эверест. С. 86–102.

Макоедов А.Н. 2014. Научные основы рыболовства. М.: Медиа М. 464 с.

Надолинский В.П., Надолинский Р.В. 2018. Изменения в видовом составе и численности ихтиопланктона Азовского и северо-восточной части Черного морей за период 2006–2017 гг. под воздействием природных и антропогенных факторов // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 1, № 1. С. 51–66.

Обзор экологического состояния морей Российской Федерации и отдельных районов Мирового океана за 1991 г. 1992. М.: Изд-во Ин-та глоб. климатологии и экологии. 189 с.

Пятинский М.М., Шляхов В.А., Шляхова О.В. 2020. Динамика запасов шпрота в Черном море и перспективы его освоения // Вопр. рыболовства, Т. 21, № 4. С. 396–410.

Рыбак О.О., Рыбак Е.А. 2013. Климатические изменения в Черноморском регионе и разработка стратегии его устойчивого развития // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. № 90. С. 108–143.

Седов С.И., Парицкий Ю.А., Колосюк Г.Г., Канатьев С.В. 2002. О гибели килек в Среднем и Южном Каспии в 2001 г. / Рыбохозяйственные исследования на Каспии: результаты НИР за 2001 г. Астрахань: КаспНИРХ. С. 340–346.

Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2021. М.: ВНИРО. 90 с.

Торопов П.А., Алешина М.А., Семенов В.А. 2018. Тенденции изменений климата Черноморско-Каспийского региона за последние 30 лет // Вестник Московского университета. Серия 5: География. № 2. С. 67–77.

Экологический Атлас. Черное и Азовское моря. 2019. М.: Фонд «НИР». 464 с.

Яицкая Н.А. 2012. Термохалинный режим Каспийского моря при изменении уровня: Автореф. дис. … канд. геогр. наук. Мурманск: ММБИ. 28 с.

Zaitsev Yu.P., Alexandrov B.G., Berlinsky N.A., Zenetos A. 2002. The Black Sea – an oxygen-poor sea // Europe’s biodiversity – biogeographical regions and seas. Environmental issue report. Copenhagen: European Environment Agency Publ., 123 p.

УДК 597.2/.5

МОРФО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГУСТЕРЫ *BLICCA BJOERKNA* ВОЛЖСКОГО ПЛЕСА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Глория Филипповна Глазунова[1], Игорь Фёдорович Галанин[1], Андрей Анатольевич Смирнов[2,3], Диас Далисович Фёдоров[1]

[1]Казанский федеральный Приволжский университет, Казань, Россия, GFGlazunova@stud.kpfu.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия
[3]Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия, andrsmir@mail.ru

Аннотация. В последние годы у густеры верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища наблюдается тенденция снижения средних размерно-весовых показателей и увеличения количества рыб младших возрастов. В 2021 г. уловы густеры в рассматриваемом районе были представлены половозрелыми особями в возрасте 3+…8+, преобладали 5+…7+, со стандартными для последних лет показателями размеров и массы. Учитывая хорошую обеспеченность кормом и то, что в рассматриваемом районе промышленный вылов этого вида в последние годы не производится, можно предположить, что изменения биологической структуры вызваны усиленным антропогенным воздействием, а именно любительским и браконьерским ловом.

Ключевые слова: густера, Куйбышевское водохранилище, основные биологические показатели, морфометрический анализ

Благодарности: выражаем особую благодарность экспедиционной группе, состоящей из профессорско-преподавательского состава и студентов Казанского университета, а также ассистенту кафедры зоологии и общей биологии КФУ Александру Алексеевичу Новикову за помощь с работой в программе MorphoJ.

MORPHO-BIOLOGICAL INDICATORS OF THE SILVER BREAM *BLICCA BJOERKNA* OF THE VOLGA RIVER OPEN WATER REACH OF THE KUYBYSHEV WATER RESERVOIR

Gloria F. Glazunova[1], Igor F. Galanin[1], Andrey A. Smirnov[2,3], Dias D. Fyodorov[1]

[1]Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia, GFGlazunova@stud.kpfu.ru
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia
[3]North-Eastern State University, Magadan, Russia, andrsmir@mail.ru

Abstract. Recent years revealed tendency to a decrease of the average body length and weight and an increase of the number of younger fish in the the Volga River open reach in the upper part of Kuybyshev water reservoir. In 2021, the catches of silver bream in the area analyzed consisted of mature individuals aged 3+…8+, where the ages 5+…7+ prevailed and had standard length and weight for recent years. In view of sufficient feed supply and no commercial fishing of this species in recent years, it can be assumed that the changes in the biological structure were due to increased anthropogenic impact, including amateur fishing and poaching.

Keywords: silver bream, Kuybyshev water reservoir, general biological indices, morphometric analysis

Acknowledgments: we express special gratitude to the expedition group, consisting of the faculty and students of Kazan University, as well as to assistant of the Department of Zoology and General Biology, KFU Alexander Alekseevich Novikov for help with the work in the MorphoJ program.

Мониторинг состояния промысловых видов рыб необходим для их рационального использования. В водохранилищах (искусственных водоемах, экосистема которых динамично изменяется) такие исследования имеют особую актуальность (Кузнецов, 1978, 1997). В Куйбышевском водохранилище густера *Blicca bjoerkna* (Linneus, 1758) — один из массовых видов некрупных промысловых рыб. Этот вид, ввиду особенностей своей биологии, смог успешно адаптироваться к условиям зарегулированного стока, по сравнению с другими видами промысловых рыб. Крупные особи густеры способны потреблять и моллюсков, в том числе и представителей

рода *Dreissena*, которые образуют достаточно высокие запасы биомассы, слабо используемые другими видами рыб (Решетников и др., 2002; Кузнецов, 2005; Freyhof, Kottelat, 2008). Таким образом, обеспеченность кормовыми ресурсами у густеры достаточно высока. Нестабильный режим уровня воды в весенний период, характерный для Куйбышевского водохранилища, неблагоприятно влияет на эффективность воспроизводства рыбных запасов. У густеры порционный нерест начинается поздно, в конце мая или в начале июня, что вместе с пластичностью в выборе места икрометания и нерестовых субстратов позволяет ей избежать неблагоприятного воздействия колебаний уровня воды весной (Решетников и др., 2002; Кузнецов, 2005; Koli, 1990).

Из-за небольшого размера и конкуренции с лещем, более ценным промысловым видом, густера является относительно малоценной рыбой (Решетников и др., 2002), но востребована для любительского лова (Billard, 1997). Промысловая статистика в последние годы показывает высокую долю густеры в уловах Куйбышевского водохранилища (Государственный доклад.., 2018, 2020).

Данная работа ставит перед собою цель оценить состояние густеры верней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища, основываясь на ее основных биологических показателях последних лет, а также морфометрических данных 2021 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для данной работы были использованы материалы контрольных уловов Казанского (Приволжского) федерального университета 2017–2019 и 2021 гг. Частично анализ материалов был опубликован ранее (Глазунова и др., 2021). Данные собирались из уловов ставных сетей с размером ячеи 24–65 мм в верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища. Всего было собрано 216 экз. густеры, в том числе в 2021 г. — 44 экз., из которых 27 экз. послужили материалом для морфометрического анализа. Основные биологические показатели определялись по общепринятым методикам Правдина (1966), Плохинского (1978), Лакина (1990). Для работы с изображениями использовались программы tpsUtil64, tpsdig264 и MorphoJ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные биологические показатели. В 2017–2020 гг. размах колебаний длины тела составлял от 11 до 27 см, при средних значениях от 17,1 до 20,0 см (Глазунова и др., 2021), а в 2009–2012 гг. — от 6 до 28 см, при средних значениях от 15 до 17 см (Кузнецов и др., 2015). В 2021 г. размеры тела (рис. 1А) варьировали от 10,5 см до 26 см со средним показателем 19,9 см.

Масса тела в 2017–2020 гг. колебалась от 35 до 615 г, при средних значениях от 140 до 231 г (Глазунова и др., 2021), а в 2009–2012 гг. — от 10 до 360 г, при средних значениях от 95 до 126 г (Кузнецов и др., 2015). В 2021 г. масса тела (рис. 1Б) колебалась в пределах от 40 г до 530 г со средним значением 246,7 г.

Анализ возрастного состава показывает, что в 2017–2020 гг. в уловах встречались особи в возрасте от 2+ до 14+ лет. Доминировали рыбы в возрасте 5+…9+ лет. В 2009–2012 гг. возрастной состав был представлен особями в возрасте от 2+ до 11+ лет, с преобладанием возрастных классов 5+…7+ лет (Кузнецов и др., 2015; Глазунова и др., 2021). В уловах 2021 г. возрастной состав (рис. 1В) ограничивается особями с возрастом 3+…8+, при этом особи 6+ значительно преобладают и составляют 50% выборки.

Необходимо отметить, что в период с 1959 г. по последние годы размах биологических показателей и средние значения по годам у густеры были следующими: длина тела варьировала от 6 до 35 см, при средних значениях от 15 до 28 см, масса тела колебалась от 10 до 615 г, при средних значениях от 95 до 231 г. Возрастной состав был представлен особями в возрасте от 2+ до 14+ лет, с преобладанием возрастных классов 3+…8+ лет (Кузнецов, 1978, 1997, 2005). Однако материалы 2020 г. (размах колебаний длины тела — от 12,5 до 27 см, среднее значение 20 см, масса от 50 до 500 г, средняя — 231 г, возраст от 5 до 14 лет, с преобладанием 6+…9+ лет) дают возможность предположить нормализацию основных биологических показателей густеры (Глазунова и др., 2021). В 2021 г. показатели практически не отличались от 2020 г., но можно отметить небольшое разнообразие возрастных групп, что можно объяснить небольшим размером анализируемой выборки.

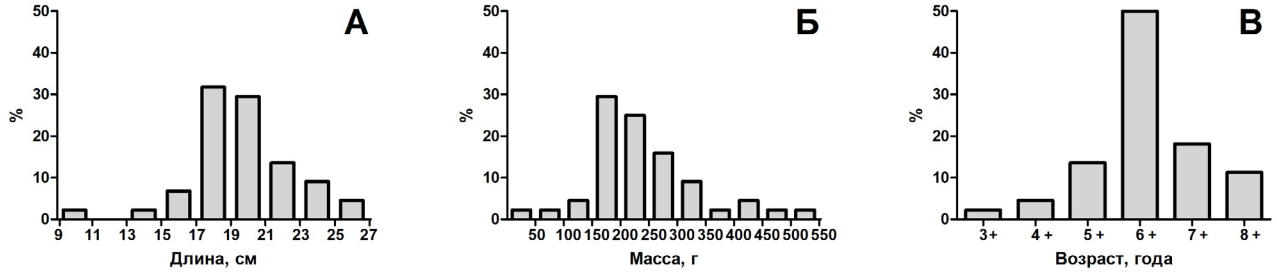

Рис. 1. Размерный (А), весовой (Б) и возрастной (В) состав густеры по материалам уловов 2021 г.
Fig. 1. The length (A), weight (Б) and age (В) composition of silver bream on the catch data 2021

Таким образом, мы видим, что у густеры, как и в предыдущие годы, сохраняются относительно небольшие величины размерно-весовых показателей и достаточно велико значение рыб младших возрастов, наметившееся в 2009–2012 гг.

Учитывая достаточно хорошую обеспеченность кормом и то, что в рассматриваемом районе промышленный вылов этого вида в последние годы не производится, можно предположить, что изменения биологической структуры густеры в верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища вызваны значительным влиянием антропогенного воздействия в виде любительского и браконьерского лова.

Морфометрический анализ. Особенностью рыб является постоянный рост, который не прекращается в течение всей жизни. Соотношение ее морфометрических параметров сильно изменяется в период развития. Рыба растет неравномерно. Основные изменения приходятся на первые годы жизни. Обычно до наступления половой зрелости рыбы растут быстрее (Ильмаст, 2005). Основываясь на выборке 2021 г., было установлено, что особи возрастом 4+ имеют самое узкое тело (показатели ниже среднего по выборке), а особи с возрастом 7+ — самое высокое (рис. 2). Однако стоит отметить, что отличия невелики.

Также для морфометрического анализа выборка была разделена по размерному, весовому, возрастному и половому составам. Самки в выборке имеют более четкую динамику роста по морфометрическим показателям, нежели самцы (рис. 3А). Однако стоит учитывать и тот факт, что в данной выборке присутствует всего 5 самок.

Возрастное распределение разделилось на 4 группы, от 5+ до 8+ (рис. 3Б). Особи с возрастом 5+ сконцентрированы у основания линейной зависимости, что обусловлено их относительно небольшими размерами тела. Особи 6+ представлены средними значениями выборки и имеют самые разнообразные морфометрические показатели, что может быть связано с тем, что их количество составляет практически 50% данной выборки. Размеры тела особей густеры с возрастом 7+ весьма морфометрически разнообразны и пересекаются с группами по возрасту 5+ и 6+. Особи возрастов 8+ составляют отдельную группу, не пересекающуюся ни с одной из других возрастных групп.

По размерам тела были выделены 6 групп (рис. 4). Выявлено четкое разделение групп по размерам тела густеры с небольшим пересечением в группах с размерами 17–19 см и 19–21 см. Эти две группы преобладают в выборке и вместе занимают более 50% от общего количества.

Распределение по массе позволило выделить также 6 групп (рис. 5). График показывает зависимость увеличения массы вместе с увеличением размеров тела. Группы достаточно четко разделены, схожие размеры замечены у групп с массой 150–200 г и 200–250 г.

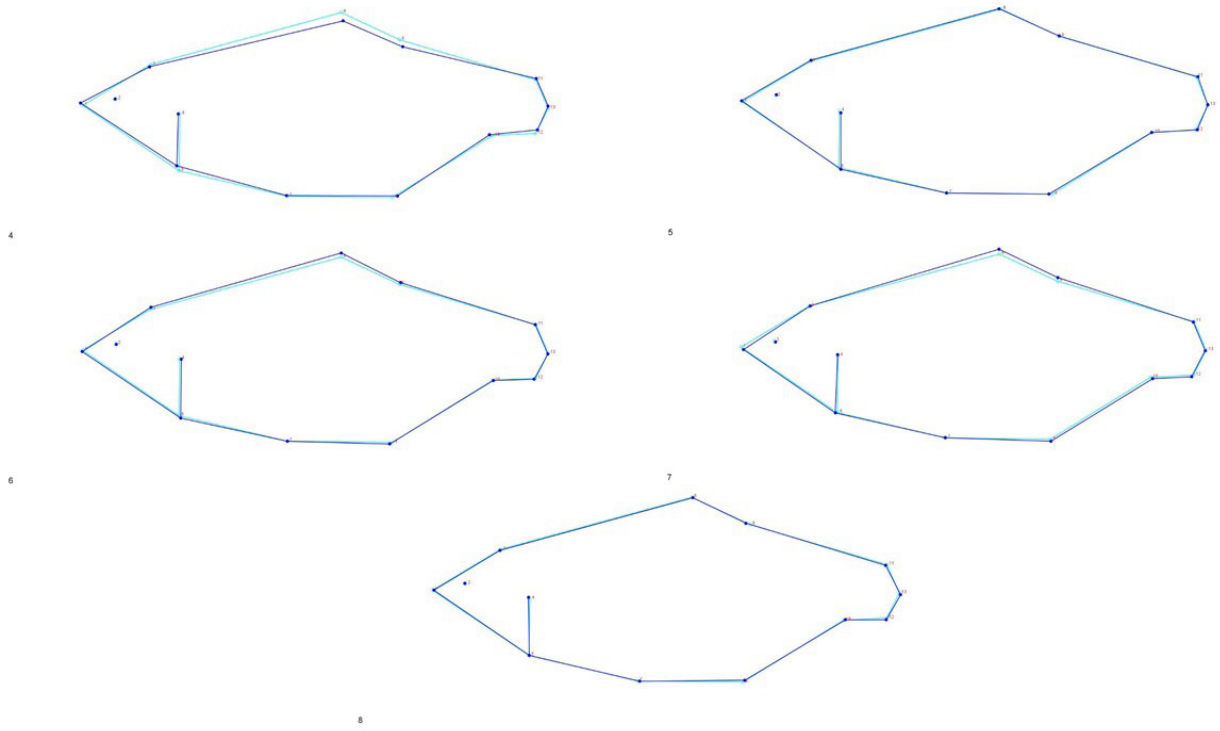

Рис. 2. Изменение размеров тела в зависимости от возраста особей густеры
Fig. 2. The changes in the body length of silver bream depending the individual age

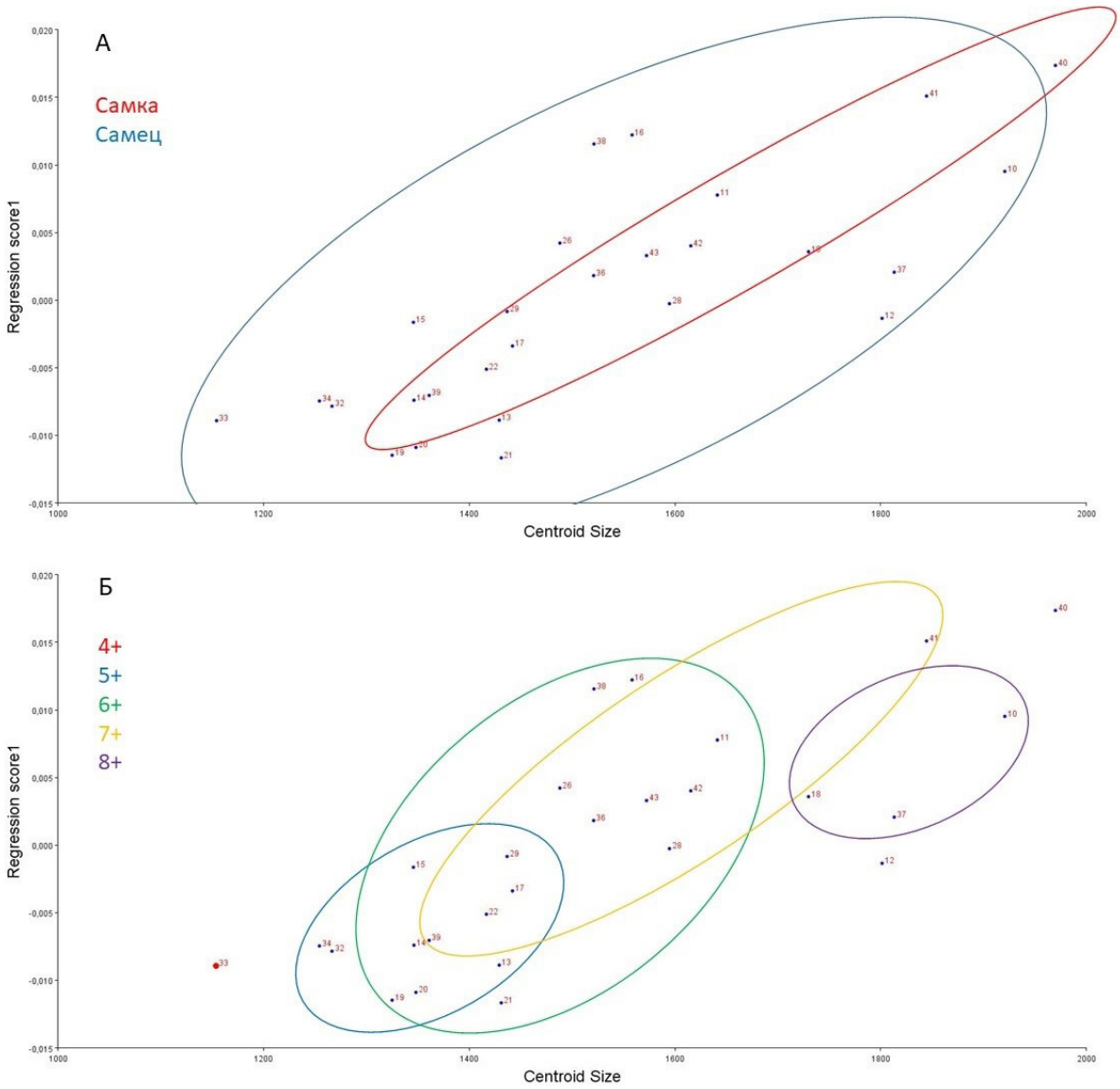

Рис. 3. Группировка густеры по полу (А) и возрасту (Б)
Fig. 3. Grouping silver bream by sex (A) and age (Б)

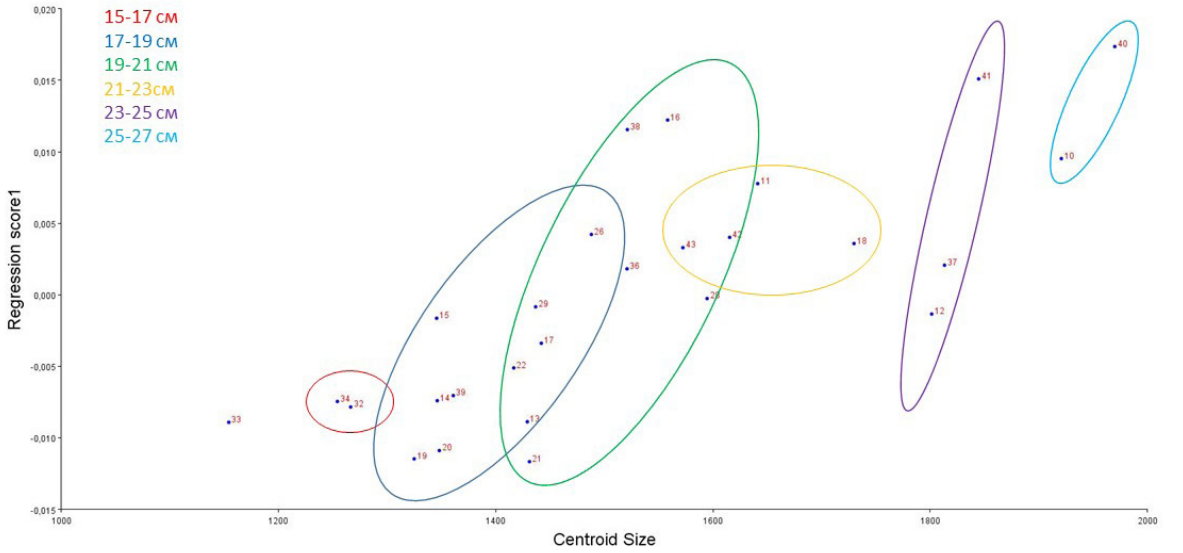

Рис. 4. Морфометрическое распределение особей густеры по размерным группам
Fig. 4. The morphometric distribution of solver bream individuals by size groups

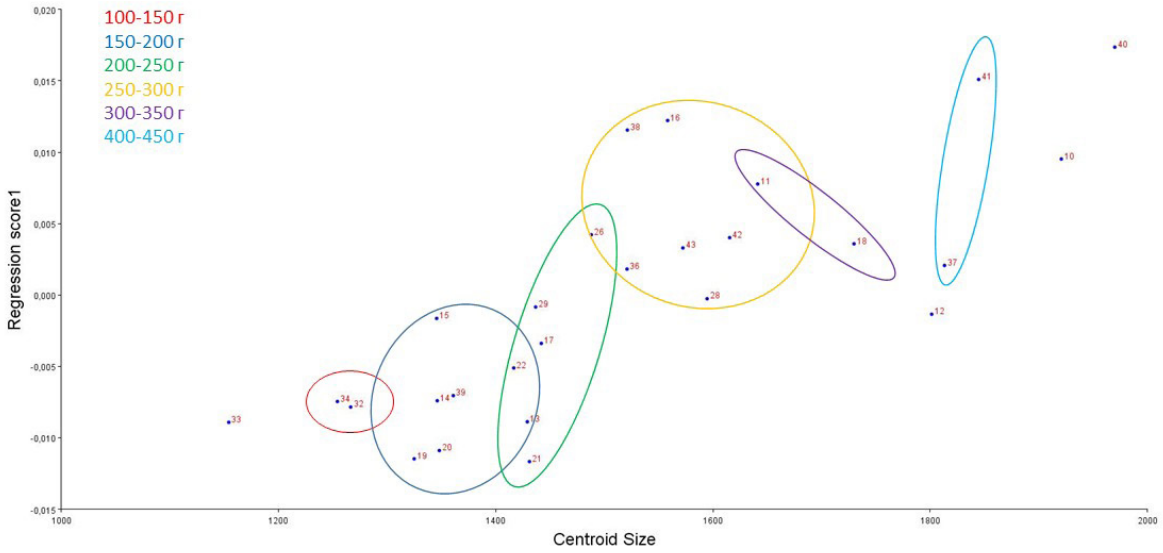

Рис. 5. Морфометрическое распределение особей густеры по весовому составу
Fig. 5. The morphometric distribution of silver bream by weight

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2021 г. уловы густеры верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища были представлены половозрелыми особями в возрасте 3+…8+, преобладали 5+…7+, со стандартными для последних лет показателями размеров и массы. Морфометрия густеры отображает динамику ее развития. Самки имеют практически идентичное распределение, что и особи возрастом 7+. Размерные и весовые группы практически не отличаются при низких и высоких значениях, что подтверждает зависимость размерно-весовых параметров рыбы. На фоне достаточно хорошей обеспеченности кормом густера не реализует потенциальные возможности роста. Данная ситуация может быть следствием антропогенного воздействия от любительского и браконьерского лова.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Глазунова Г.Ф., Галанин И.Ф., Гайфутдинова И.Ф., Сафина С.Ф., Смирнов А.А., Андреева Т.В., Кузнецов В.В. 2021. Современное состояние густеры *Blicca bjoerkna* (Linneus, 1758) верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища // Рыбное хозяйство. № 1. С. 42–46.

Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2017 году». 2018. Казань. С. 174–182.

Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2019 году». 2020. Казань. С. 155.

Ильмаст Н.В. 2005. Введение в ихтиологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 98 с.

Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия: Учеб. пособие. М.: Высшая школа. 352 с.

Кузнецов В.А. 1978. Особенности воспроизводства рыб в условиях зарегулированного стока. Казань: Казанский ун-т. 159 с.

Кузнецов В.А. 1997. Изменение экосистемы Куйбышевского водохранилища в процессе ее формирования // Водн. ресурсы. Т. 24 (2). С. 228–233.

Кузнецов В.А. 2005. Рыбы Волжско-Камского края. Казань: Казанский ун-т. С. 116–118.

Кузнецов В.А., Григорьев В.Н., Галанин И.Ф., Кузнецов В.В. 2015. Биологическая характеристика густеры *Blicca Bjoerkna* верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища // Изв. Самарского научного центра РАН. Т. 17. № 6. С. 23–26.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

Плохинский Н.А. 1978. Математические методы в биологии: Учеб.-метод. пособие для студентов биол. фак. ун-тов. М.: МГУ. 265 с.

Решетников Ю.С., Попова О.Л., Соколов Л.И., Цепкин Е.А. 2002. Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука. С. 219–221.

Billard R. 1997. Les poissons d'eau douce des rivières de France. Identification, inventaire et répartition des 83 espèces. Lausanne, Delachaux & Niestlé, 192 p.

Freyhof J., Kottelat M. 2008. Blicca bjoerkna. The IUCN (International Union for Conservation of Nature) Red List of Threatened Species. 2008. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T39270A10173879.en.

Koli L. 1990. Suomenkalat. [Fishes of Finland]. Werner Söderström Osakeyhtiö. Helsinki. 357 p. (In Finnish)

УДК 597.553.2-152.6(282.247.18)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О БИОЛОГИИ И ЧИСЛЕННОСТИ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM) В ВОДОЕМАХ КОЛЬСКОГО П-ОВА

Александр Васильевич Зубченко, Артем Владимирович Ткаченко, Максим Юрьевич Алексеев, Игорь Валерьевич Самохвалов

Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Мурманск, Россия, zav@pinro.ru, tkach@pinro.ru, mal@pinro.ru, igor_s@pinro.ru

Аннотация. На основании исследований, выполненных в 2017–2021 гг., привели сведения о динамике нерестовой миграции, длине и массе, соотношении полов, плодовитости и численности нерестового стада горбуши из рек Варзуга, Умба и Тулома. Полученные данные сравнили с аналогичными характеристиками вида из рек северного побережья Охотского моря. Отмечен резкий рост численности горбуши линии нечетных лет в реках бассейнов Белого и Баренцева морей, а также в реках бассейнов Норвежского и Северного морей. Приведена экспертная оценка современной численности интродуцента в водоемах Европейского Севера России.

Ключевые слова: горбуша, динамика нерестовой миграции, размерно-массовый состав, половой состав, плодовитость, численность, река Варзуга, река Умба, река Тулома

NEW DATA ON THE BIOLOGY AND ABUNDANCE OF PINK SALMON *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM) IN THE WATERS OF THE KOLA PENINSULA

Aleksandr V. Zubchenko, Artyom V. Tkachenko, Maksim Yu. Alekseev, Igor V. Samohvalov

Polar Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Murmansk, Russia, zav@pinro.ru, tkach@pinro.ru, mal@pinro.ru, igor_s@pinro.ru

Abstract. Data on the dynamics of spawning migrations, length and weight, sex ratio, fecundity and abundance of pink salmon spawning populations of the rivers Varzuga, Umba and Tuloma based on the research conducted in 2017–2021 are provided. The data were compared to the data from the rivers of the northern coast of the Sea of Okhotsk. A sharp increase in the abundance of odd-years pink salmon in the rivers of the White and Barents Seas, as well as in the rivers of the Norwegian and North Seas has been revealed. Expert assessment of current abundance of the introduced species in the waters of the European North of Russia is given.

Keywords: pink salmon, dynamics of spawning migrations, length-weight composition, sex ratio, fecundity, abundance, Varzuga River, Umba River, Tuloma River

Прошло достаточно много времени с тех пор, когда из нативного ареала (Южный Сахалин) в 1956 г. на Тайбольский рыбоводный завод (Кольский полуостров) была завезена и проинкубирована икра горбуши, а затем выпущена в р. Кола (бассейн Баренцева моря) ее молодь. Уже в первые годы после начала акклиматизационных работ горбуша стала встречаться в баренцевоморских и беломорских реках (Исаев, 1961; Zubchenko et al., 1998; Зубченко и др., 2004; Кудерский, 2005), в реках бассейна Карского моря (Устюгов, 1967; Крупицкий, Устюгов, 1977), в водах Норвегии, Шотландии, Исландии, Шпицбергена (Азбелев, 1960; Berg, 1961, 1977; Pyefinch, 1962; Williamson, 1974; Bjerknes, 1977; Bjerknes, Vaag, 1980) и даже Гренландии (Muus, 1981). В течение длительного времени, несмотря на значительные объемы завозимой икры и на переход на выпуск подращенной молоди вместо личинок, заметных результатов достигнуто не было. В четные годы в водоемах Севера России лишь один раз учтенная численность горбуши составила чуть более 88 тыс. экз. (1960 г.), а затем колебалась от нескольких десятков до чуть более 11 тыс. экз. В нечетные годы учтенная численность интродуцента несколько раз превышала 100 тыс. экз. (максимум около 220 тыс. экз. в 1975 г.), однако после прекращения в 1979 г. завоза икры с Дальнего Востока горбуша практически исчезла из уловов.

Как уже отмечалось ранее (Zubchenko et al., 1998; Кудерский, 2005, Зубченко и др., 2018), более успешным оказался 2-й этап работ по интродукции горбуши, когда в 1985 г. водоемом-донором была выбрана р. Ола (Магаданская область). Потомки поколения 1985 г., исходя из данных Гордеевой (2017) и Гордеевой с соавторами (2015), хорошо адаптировались к условиям ареала вселения и стали частью ихтиофауны прибрежных вод и водотоков российского Севера (бассейны Баренцева, Белого и Карского морей), стран Северной Европы, и даже двух рек восточного побережья Канады (Богданов, Кижеватов, 2007, 2015; Møller et al., 2010; Зубченко и др., 2018; Gjelland, Sandlund, 2012; Hesthagen, Sandlund, 2016; Bartlett, 2017; Mo et al., 2018; Armstrong et al., 2018; Millane et al., 2019; Sandlund et al., 2019; Hindar et al., 2020; Nielsen et al., 2020).

Очевидно, что относительно большие скопления горбуша образует только в бассейне Белого моря, где она является объектом промышленного и любительского рыболовства: например, средний промышленный улов вселенца в 2001–2017 гг. составил 220,5 т (99,5–373,4 т) (Зубченко и др., 2018). В других регионах Северо-Восточной Атлантики, в Баренцевом и Карском морях горбуша до последнего времени была немногочисленна. В р. Тана на территории Норвегии в 2004–2015 гг. в общей сложности было выловлено 336 (1–126) экз. горбуши (Niemelä et al., 2016). По другим сведениям (Sandlund et al., 2019), в период с 1989 по 2007 гг. уловы в р. Тана, как считают авторы, были высокими во все нечетные годы (в среднем 446 кг), в то время как большинство уловов в четные годы были низкими (в среднем 126 кг).

Численность горбуши мало изменилась и в последние годы, хотя, по мнению Сандлунда и др. (Sandlund et al., 2019), в 2017 г. в Норвегии произошло «нашествие» горбуши в количестве, никогда ранее не наблюдавшемся. По данным авторов, до 2012 г. горбушу отмечали или вылавливали примерно в 50 реках Норвегии. В 2015 г. в 21 реке было зарегистрировано 162 особи, а в 2016 г. в 30 реках — 159 экз. В то же время в 2017 г. в 263 реках в общей сложности были пойманы или обнаружены визуально 11 818 особей горбуши. Это количество сопоставимо с численностью горбуши из баренцевоморских рек России, где из-за более суровых условий воспроизводство интродуцированного вида ограничено. Тем не менее отмечается (Mo et al., 2018; Sandlund et al., 2019), что формирование самовоспроизводящихся запасов горбуши в еще большем количестве рек, впадающих в Баренцево море на севере Кольского полуострова и на побережье провинции Финнмарк, вызывает большие опасения как с точки зрения возможного негативного воздействия на местных лососевых, так и возможных проблем для туристического рыболовного бизнеса, который ориентирован на вылов крупного атлантического лосося и может стать менее привлекательным, если основным уловом будет мелкая горбуша. Это, по мнению норвежских ученых, обусловливает необходимость проведения обширных исследований, которые помогут понять механизмы, определяющие роль горбуши как чужеродного вида в экосистемах норвежских рек, и возможные последствия воздействия горбуши на местных лососевых и окружающую среду в реках-реципиентах и в океане.

В России из-за отсутствия финансирования исследования интродуцированной горбуши были прекращены в 1979 г. (Яковенко, 1995), и эта ситуация сохранилась до настоящего времени. Данные по биологии вида по возможности собирают в ходе исследований по оценке состояния, распределения, численности и особенностей воспроизводства атлантического лосося, поэтому носят в основном фрагментарный характер. Это и предопределило задачи данной работы, основная цель которой — обобщить и обсудить собранные в последние несколько лет сведения об основных популяционных характеристиках, динамике численности и динамике вылова горбуши, идущей на нерест в реки Кольского полуострова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использовали данные по динамике нерестовой миграции, размерно-массовому, половому составу, по плодовитости и численности горбуши, полученные на рыбоучетных заграждениях (РУЗ) рек Варзуга, Умба (бассейн Белого моря) и на рыбоходе Нижне-Туломской ГЭС (р. Тулома, бассейн Баренцева моря) в 2017–2021 гг.

Р. Варзуга расположена в юго-восточной части Кольского п-ова. Длина — 254 км, площадь водосбора — 9836 км^2. Р. Умба расположена в южной части Кольского п-ова, ее длина — 124,8 км, площадь водосбора — 6248,5 км^2. Р. Тулома расположена в северо-западной части Кольского п-ова. Река полностью зарегулирована, площадь водосбора — 18 231,5 км^2.

Сбор и обработку ихтиологического материала осуществляли по стандартным методикам (Правдин, 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика нерестовой миграции. Изучали на рр. Варзуга и Тулома (рис. 1а, б).

На р. Варзуга в 2019 и 2021 гг. первые производители горбуши отмечены 25 июня (t воды — 12,0 °С) и

22 июня (t воды — 17,8 °С) соответственно. Миграция на нерест завершилась в конце августа. В 2017 г. из-за затяжного паводка РУЗ установили только в начале июля, поэтому определить срок начала миграции вселенца в реку не представляется возможным. Первые экземпляры горбуши были пойманы 2 июля при температуре воды 15,0 °С. Следует отметить, что средняя температура воды в июне 2017 г. составила 9,3 °С. В 2019 и 2021 гг. — 13,6 °С и 15,9 °С соответственно. Последние особи горбуши в 2017 г. зарегистрированы в конце июля. Пик миграции во всех трех случаях пришелся на первую декаду июля. Нерест в 2017, 2019 и 2021 гг. проходил во второй половине августа. Он начался при температуре 16–18 °С. В конце нерестового периода температура снизилась до 10–12 °С.

В р. Тулома в 2017 и в 2019 гг. начало нерестовой миграция горбуши пришлось на конец первой – начало второй декады июня. В 2021 г. из-за длительной работы водосброса Нижне-Туломской ГЭС миграция горбуши через рыбоход задержалась примерно на две недели. Последние особи во всех трех случаях отмечены в конце августа – начале сентября. В зависимости от наполнения Нижне-Туломского водохранилища, сброс воды в течение периода миграции горбуши на нерест может осуществляться несколько раз. Горбуша реагирует на более мощный поток воды (расход воды в рыбоходе составляет примерно 1 м^3/с), поэтому накапливается в нижнем бьефе плотины, и начало массовой нерестовой миграции по этой причине может задерживаться, как это случилось в 2021 г., или иметь несколько в разной мере выраженных пиков, как это было в 2017 и 2019 гг.

В р. Варзуга в период с 1989 по 2003 гг. пик миграции горбуши нечетной линии только один раз, в 2003 г., пришелся на первую декаду июля. Во все предыдущие годы массовый заход наблюдался во второй декаде июля (Зубченко и др., 2004). Последнее характерно для горбуши р. Ола (Волобуев, Марченко, 2011), которая, как отмечалось выше, была использована для интродукции в реки Кольского п-ова. Интродукция горбуши из водоема со сходными условиями воспроизводства определила успешность второго этапа акклиматизации. То есть по сравнению с популяцией-донором, массовая нерестовая миграция беломорской горбуши в последние годы наблюдается в более ранние сроки. В нативном ареале различие в сроках хода горбуши связано с тем, что она подходит на нерест из разных районов нагула (Бугаев и др., 2007). В Охотском море сроки нерестовых подходов горбуши к побережью в значительной мере зависят от ледовитости и температурного фона в прибрежье, от условий нагула и гидрологической обстановки в океане, от мощности поколений (Волобуев, Марченко, 2011).

Длина и масса. Несмотря на имеющиеся достоверные различия рассматриваемых параметров (табл. 1), как между самцами и самками в отдельной реке, так и в целом по трем рекам, оценить эти данные весьма сложно, поскольку многое зависит от полноты охвата всего периода миграции, что не всегда получается. Тем не менее можно констатировать, что самцы в рассматриваемых реках крупнее самок, что характерно и для нативного ареала (Волобуев, Марченко, 2011). Из рассматриваемых рек наибольшую средню дли-

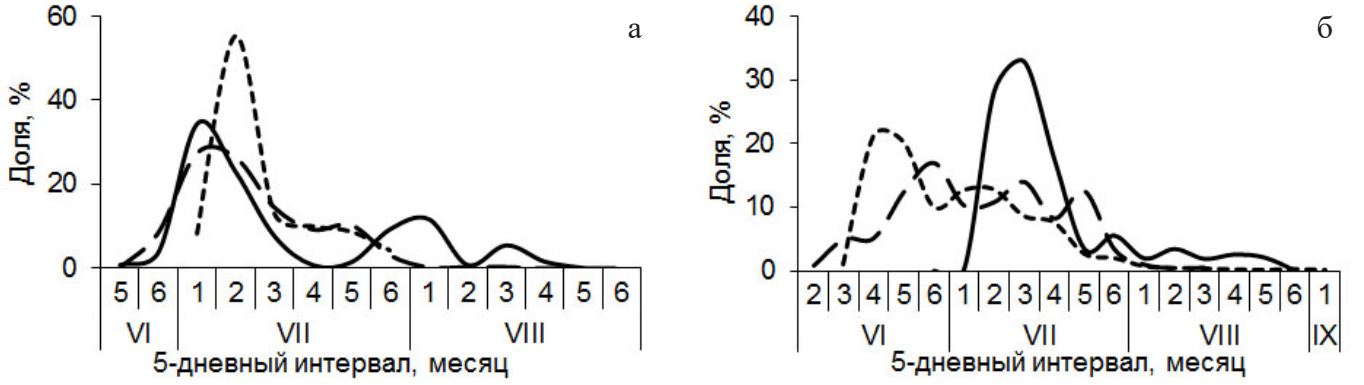

Рис. 1. Динамика нерестовой миграции горбуши в реки Варзуга (а) и Тулома (б) в 2017 (- - -), 2019 (— —) и 2021 (——) гг.
Fig. 1. Dynamics of pink salmon spawning migration in the rivers Varzuga (a) and Tuloma (б) in 2017 (- - -), 2019 (— —) and 2021 (——)

Таблица 1. Длина и масса производителей нечетной линии горбуши в рр. Варзуга, Умба, Тулома в 1917–2021 гг.
Table 1. Body length and weight of adult pink salmon of odd years in the Rivers Varzuga, Umba and Tuloma for 1917–2021

Река	♂				♀				♂♀			
	Длина, см		Масса, кг		Длина, см		Масса, кг		Длина, см		Масса, кг	
	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE	M	SE
Варзуга	48,3	0,46	1,34	0,05	45,5	0,6	1,2	0,04	47,1	0,3	1,3	0,03
Умба	46,2	0,5	1,2	0,04	44,0	0,24	1,02	0,02	44,7	0,24	1,1	0,02
Тулома	47,0	0,26	1,2	0,02	44,9	0,14	1,1	0,02	45,8	0,14	1,1	0,01

ну имеет горбуша из р. Варзуга. По своему размерно-массовому составу горбуша из этой реки наиболее близка к таковой из р. Ола (Волобуев, Марченко, 2011). На севере Норвегии в рр. Скалельва (Skallelva) и Вестерельва (Vesterelva) в 2019 г. средняя длина и масса горбуши составили 49 ± 4,4 см и 1,1 ± 0,5 кг соответственно (Paulsen et al., 2021).

Половой состав. В р. Тулома в 2017 г. количество самок в нерестовом стаде составило 51,7%, в 2019 г. — 57,8%, в 2021 г. — 49,0%. В р. Варзуга в 2021 г. доля самок равнялась 51,0%. В р. Умба доля самок в 2017 г. составила 56% (Алексеев и др., 2019). По данным Неклюдова, Сиренко (1988), в р. Поной (Кольский п-ов) в 1987 г. соотношение самок и самцов горбуши было близко 1:1. В нативном ареале в ряде рек северного побережья Охотского моря в 1960–2008 гг. у горбуши линии нечетных лет преобладали самки (54–55%). Исключением является р. Ола, где доля самок составляла в среднем 48% (Волобуев, Марченко, 2011). Авторы также отмечают значительную волатильность в соотношении самцов и самок в течение нерестового хода.

Плодовитость. Средняя индивидуальная абсолютная плодовитость (ИАП) горбуши в рр. Умба и Тулома за период исследований составила 1695 ± 47 (1065–2240) и 1770 ± 41 (1190–2180) шт. икры соответственно. Относительная плодовитость (ОП) — 1635 ± 71 (830–2660) и 1570 ± 36 (1185–2220) шт. икры соответственно. С увеличением размеров и массы самок ИАП увеличивается, а ОП демонстрирует тенденцию к снижению (рис. 2а, б; 3а, б).

Ранее средняя ИАП для горбуши р. Умба составляла 2230 шт. икры, для рр. Варзуга, Кица — 1870 и 1940 шт. икры соответственно (Зубченко и др., 2004). В нативном ареале в рр. Гижига, Ола, Тауй (материковое побережье Охотского моря) средняя величина ИАП в 1960–2008 гг. была практически одинакова: 1529, 1578 и 1550 шт. икры (Волобуев, Марченко, 2011), что заметно меньше, чем в реках Кольского п-ова. Вполне возможно, более высокая плодовитость горбуши в новом ареале является приспособленческой реакцией вида, увеличивающей вероятность выживания в других условиях.

Численность. Исходя из статистики уловов, начиная с 2011 г. наблюдается постоянный рост учтенной численности горбуши (табл. 2) как в целом, так и в рр. Варзуга и Тулома (табл. 2). При этом в 2021 г. достигнут исторический максимум в уловах (602,1 т), несмотря на проблемы, связанные с перераспределением квот и перерегистрацией рыболовных участков (РЛУ). В 2017 г. общий вылов горбуши в водоемах Кольского п-ова составил 277,6 т, в 2019 г. — 381,7 т.

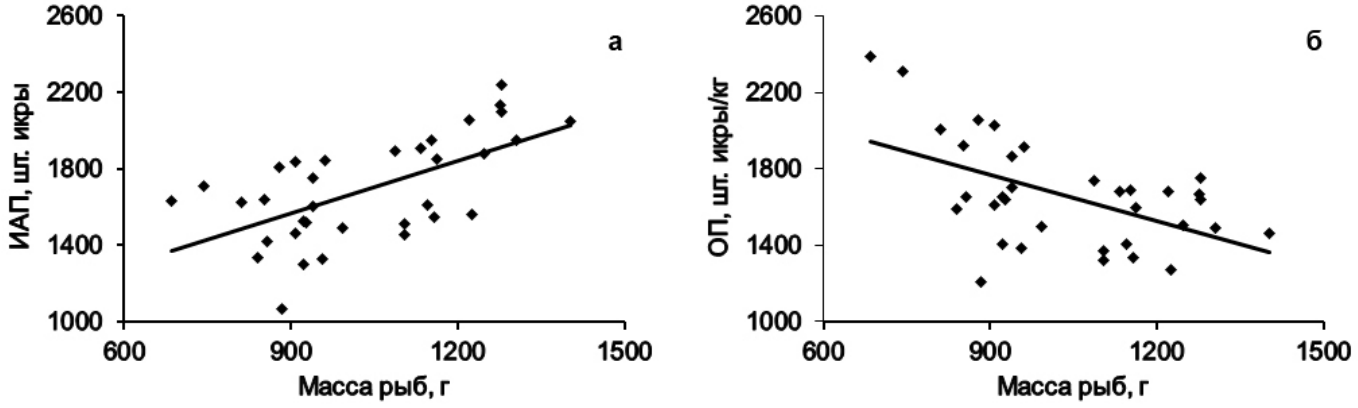

Рис. 2. Скаттеры связи ИАП (а) и ОП (б) с массой тела горбуши р. Умба
Fig. 2. The scatters of the association of IAP (a) and OP (б) with the pink salmon body weight in the Umba River

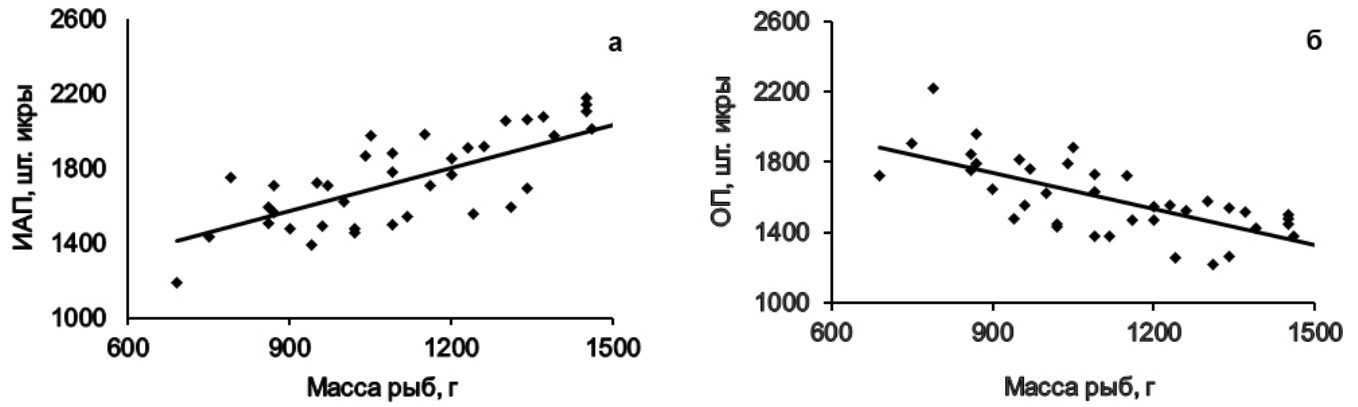

Рис 3. Скаттеры связи ИАП (а) и ОП (б) с массой тела горбуши р. Тулома
Fig. 3. The scatters of the association of IAP (a) and OP (б) with the pink salmon body weight in the Tulima River

Таблица 2. Учтенная численность горбуши в 2011–2021 гг., тыс. экз.
Table 2. Recorded abundance of pink salmon for 2011–2021, thous. ind.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Варзуга	22,1	0,0	46,5	1,0	62,8	1,3	103,0	0,2	201,9	0,1	361,5
Тулома	0,019	0,077	0,064	0,020	0,073	0,020	0,619	0,065	0,846	0,000	5,881
Всего по Кольскому п-ову	54,4	0,0	117,6	2,0	127,5	1,8	207,5	1,3	336,3	0,5	513,7

Ранее уже отмечалось (Зубченко и др., 2010), что в 1990–2000-е гг. в целом для Белого моря максимальный запас горбуши достигал 480–500 тыс. экз. По разным оценкам, максимальная численность горбуши в бассейне Белого моря может достигать 2 (Агапов, 1986) и даже 4–8 млн экз. (Карпевич, 1998). По расчетам на основе данных по площади угодий, пригодных для нереста горбуши в беломорских реках Кольского п-ова, в нем могут принять участие от 1,2 до 2,5 млн экз. интродуцированного вида, в т. ч. от 480 до 1000 тыс. самок (Зубченко и др., 2004). В 2021 г. только учтенная численность горбуши в водоемах полуострова составила более 500 тыс. экз. С учетом незаконного, несообщаемого и нерегулируемого (ННН)-рыболовства, издержек с организацией промысла, отсутствием данных по вылову в Архангельской области и Карелии численность рекрутов горбуши в 2021 г. оценена на уровне 1,3–1,5 млн экз. Исходя из нерестового фонда водотоков, прежде всего, в бассейне Белого моря это не предел, но отсутствие каких-либо сведений о морском периоде жизни горбуши в новом ареале не позволяет спрогнозировать ее численность даже на уровне экспертной оценки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных и ретроспективных данных показывает, что в р. Варзуга миграция горбуши на нерест обычно проходит с конца июня до конца августа. Пик миграции приходится на первую декаду июля. Нерест в 2017, 2019 и 2021 гг. проходил во второй половине августа. Он начался при температуре 16–18 °С. В конце нереста температура снизилась до 10–12 °С. В р. Тулома нерестовая миграция горбуши начинается раньше: обычно в конце первой – начале второй декады июня, и продолжается до конца августа – начала сентября. В зависимости от наполнения Нижне-Туломского водохранилища и связанных с этим сбросов воды, начало массовой нерестовой миграции может задерживаться или иметь несколько в разной мере выраженных пиков. Ранее в р. Варзуга пик миграции нечетной линии наблюдался во второй декаде июля, что характерно для горбуши р. Ола, являющейся популяцией-донором. В настоящее время массовая нерестовая миграция беломорской горбуши сместилась на более ранние сроки.

В популяциях изученных рек наибольшую среднюю длину имеет горбуша из р. Варзуга. По своему размерно-массовому составу горбуша из этой реки наиболее близка к таковой из р. Ола.

В р. Тулома количество самок в нерестовом стаде колебалось от 49 (2021 г.) до 57,8% (2019 г). В р. Варзуга в 2021 г. доля самок равнялась 51,0%. Для сравнения, по среднемноголетним данным в ряде рек северного побережья Охотского моря у горбуши линии нечетных лет преобладали самки (54–55%). Исключением является р. Ола, где доля самок составляла в среднем 48%.

Средняя индивидуальная абсолютная плодовитость (ИАП) горбуши в рр. Умба и Тулома за период исследований составила 1695 ± 47 (1065–2240) и 1770 ± ± 41 (1190–2180) шт. икры соответственно. Ранее средняя ИАП для горбуши р. Умба составляла 2230 шт. икры. Заметное снижение плодовитости, возможно, обусловлено завершением адаптации вселенца к новым условиям. В нативном ареале (материковое побережье Охотского моря) средняя величина ИАП (1529–1578 шт. икры), что меньше, чем в реках Кольского п-ова.

Исходя из статистики уловов, начиная с 2011 г. наблюдается постоянный рост учтенной численности горбуши как в рр. Варзуга и Тулома, так и в целом по региону. В 2021 г. достигнут исторический максимум вылова (602,1 т). С учетом незаконного, несообщаемого и нерегулируемого (ННН)-рыболовства, издержек с организацией промысла, отсутствием данных по вылову в Архангельской области и Карелии, численность рекрутов горбуши в водах Севера России в 2021 г. оценена на уровне 1,3–1,5 млн экз.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Агапов В.С. 1986. Жизненный цикл горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum), акклиматизированной на Европейском Севере СССР // Вопр. ихтиологии. Т. 26. № 5. С. 779–794.

Азбелев В.В. 1960. О научно-исследовательских работах по повышению эффективности акклиматизации дальневосточных лососей в бассейнах Белого и Баренцева морей // Науч.-техн. бюл. ПИНРО. № 4 (14). С. 15–19.

Алексеев М.Ю., Ткаченко А.В., Зубченко А.В., Шкателов А.П., Николаев А.М. 2019. Распространение, эффективность нереста и возможность промысла интродуцированной горбуши (*Oncorhynchus gorbusha* Walbaum) в реках Мурманской области // Российский журнал биол. инвазий. Т. 12. № 1. С. 1–13.

Богданов В.Д., Кижеватов Я.А. 2007. Горбуша в водоемах и водотоках Ямало-Ненецкого автономного округа // Науч. вестник Ямало-Ненецкого автоном. округа. Вып. 6 (50), ч. 2. С. 3–4.

Богданов В.Д., Кижеватов Я.А. 2015. Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*, Walbaum, 1792) — новый вид водных биологических ресурсов в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 3. С. 7–14.

Бугаев В.Ф., Вронский Б.Б., Заварина Л.О., Зорбиди Ж.Х., Остроумов А.Г., Тиллер И.В. 2007. Рыбы реки Камчатка (Под ред. В.Ф. Бугаева). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 494 с.

Волобуев В.В., Марченко С.Л. 2011. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел) / Отв. ред. В.И. Карпенко. ФГУП «МагаданНИРО». Магадан: СВНЦ ДВО РАН. 303 с.

Гордеева Н.В. 2017. Беломорская горбуша: адаптация, генетика, демография // Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря: Матер. конф. СПб. С. 47–49.

Гордеева Н.В., Салменкова Е.А., Прусов С.В. 2015. Динамика биологических и популяционно-генетических показателей у горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, вселенной в бассейн Белого моря // Вопр. ихтиологии. Т. 55. № 1. С. 45–54.

Зубченко А.В., Веселов А.Е., Калюжин С.М. 2004. Горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*): проблемы акклиматизации на Европейском Севере России. Петрозаводск–Мурманск. 82 с.

Зубченко А.В., Прусов С.В., Алексеев М.Ю. 2018. Основные результаты акклиматизации горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) в водоемах Севера России / Биологические проблемы Севера: Матер. Междунар. науч. конф., посвящ. памяти В.Л. Контримавичуса (Магадан, 18–22 сентября 2018 г.). Магадан. С. 428–430.

Зубченко А.В., Прусов С.В., Крылова С.С. 2010. Состояние запасов и управление промыслом горбуши в Белом море / Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Матер. XI Всерос. конф. с междунар. участием. СПб. С. 57–58.

Исаев А.И. 1961. Акклиматизация тихоокеанских лососей в Баренцевом и Белом морях // Вопр. ихтиологии. Т. 1. № 1. С. 46–51.

Карпевич А.Ф. 1998. Избранные труды в двух томах. Т. 2. Акклиматизация гидробионтов и научные основы аквакультуры. М.: Памятники исторической мысли. 870 с.

Крупицкий Ю.Г., Устюгов А.Ф. 1977. Горбуша *Oncorhynchus gorbuscha* (Walb.) в реках севера Красноярского края // Вопр. ихтиологии. Т. 17. № 2 (103). С. 360–363.

Кудерский Л.А. 2005. Работы по акклиматизации горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1972) в России // Матер. IX Междунар. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря» (11–14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия). Петрозаводск. С. 172–183.

Неклюдов М.Н., Сиренко В.А. 1988. К характеристике горбуши р. Поной хода 1987 г. / Современное состояние исследований лососевидных рыб. Тез. III Всесоюз. совещ. по лососевидным рыбам (Тольятти, март 1988 г.). С. 216–218.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть. 367 с.

Устюгов А.Ф. 1967. Горбуша в Красноярском крае // Рыбное хозяйство. № 7. С. 17.

Яковенко М.Я. 1995. Горбуша как объект промысла в бассейне Белого моря / Матер. докл. VI Регион. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря» (ЗИН РАН, Кандалакш. гос. заповедник). СПб. С. 35–37.

Armstrong J.D., Bean C.W., Wells D.A. 2018. The Scottish invasion of pink salmon in 2017 // J. Fish Biol. Vol. 93. № 1. P. 8–11.

Bartlett G. 2017. Pink salmon caught in N.L. likely from Russian stocking program. CBC News. Available: https://www.cbc.ca/news/canada/newfoundland-labrador/pink-salmon-newfoundland-labrador-russia-1.4297983.

Berg M. 1961. Pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in Northem Norway in year 1960 // Acta Borealia A Scientia. Vol. 17. № 1. 4 p.

Berg M. 1977. Pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum) in Norway. Report: Institute of Freshwater Research, Drottningholm. Vol. 56. P. 12–17.

Bjerknes V. 1977. Evidence of natural production of pink salmon fry (*Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum) in Finnmark, North Norway // Astarte. Vol. 10. № 1. P. 5–7.

Bjerknes V., Vaag A.B. 1980. Migration and capture of pink salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum in Finnmark, North Norway // J. Fish Biol. Vol. 16. № 3. P. 291–297.

Gjelland K.Ø., Sandlund O.T. 2012. Pukkellaks *Oncorhynchus gorbuscha* / Artsdatabankens faktaark ISSN 1504-9140 nr. 283 utgitt 2012. 3 p. (на норвежском). Available: http://www2.artsdatabanken.no/faktaark/Faktaark283.pdf%C2%A0

Hesthagen T., Sandlund O.T. 2016. Spredning av ferskvannsfisk i Norge. En fylkesvis oversikt og nye registreringer i 2015 / NINA Rapport 1205. 54 p. (на норвежском). Available: https://brage.nina.no/nina-xmlui/handle/11250/238397

Hindar K., Hole L.R., Kausrud K., Malmstrøm M., Rimstad E., Robertson L.J., Sandlund O.T., Thorstad E.B., Velle G. 2020. Assessment of the risk to Norwegian biodiversity and aquaculture from pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) / Scientific Opinion of the Panel on Alien Organisms and Trade in Endangered Species (CITES). VKM report 2020:01, ISBN: 978–82–8259-334-2, ISSN: 2535–4019. Norwegian Scientific Committee for Food and Environment (VKM), Oslo, Norway, 157 p. (на норвежском). Available: https://vkm.no/download/18.7b86d0cd16f9471337b515cd/1579076543600/Assess...(Oncorhynchus%20gorbuscha).pdf.

Millane M., Walsh L., Roche W.K., Gargan P.G. 2019. Unprecedented widespread occurrence of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* in Ireland in 2017 // J. Fish Biol. Vol. 95. № 2. P. 651–654.

Mo T.A., Thorstad E.B., Sandlund O.T., Berntsen H.H., Fiske P., Uglem I. 2018. The pink salmon invasion: a Norwegian perspective // J. Fish Biol. Vol. 93. No 1. P. 5–7.

Møller P.R., Nielsen J.G., Knudsen S.W., Poulsen J.Y., Sünksen K., Jørgensen O.A. 2010. A checklist of the fish fauna of Greenland waters. Zootaxa 2378. 84 p.

Muus B.J. 1981. Fisk. In "Grønlands fauna: fisk, fugle, pattedyr" (Muus B.J., Salomonsen F., Vibe Ch., Eds.). København: Gyldendal. P. 23–157. (На датском)

Nielsen J., Rosing-Asvid A.*, Meire L., Nygaard R.* 2020. Widespread occurrence of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) throughout Greenland coastal waters // J. Fish Biol. Vol. 96. № 6. P. 1505–1507.

Niemelä E., Johansen N., Zubchenko A.V., Dempson J.B., Veselov A., Ieshko E.P., Barskaya Yu., *Novokhatskaya O.V., Shulman B.S., Länsman M., Hassinen E., Kuusela J., Haantie J., Kylmäaho M., Kivilahti E., Arvola K-M., Kalske T.H.* 2016. Pink salmon in the Barents Region // Office of the Finnmark County Governor Department of Environmental Affairs. Report № 3. 2016. 137 p. Available: https://www.statsforvalteren.no/siteassets/utgatt/fm-finnmark/dokument-fmfi/miljovern/rapportserie/2016_3-pink-salmon-in-the-barents-region.pdf

Paulsen T., Sandlund O.T., Østborg *G., Thorstad E.B., Fiske P., Muladal R., Tronstad S.* 2021. Growth of invasive pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) at sea assessed by scale analysis // J. Fish Biol. P. 1–11. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfb.14937 (Online Version of Record before inclusion in an issue)

Pyefinch K.A. 1962. Capture of pink salmon on the Scottish coast // Annals of Biology. Vol. 17. P. 238.

Sandlund O.T., Berntsen H.H., Fiske P., Kuusela J., Muladal R., Niemelä E., Uglem I., Forseth T., Mo T.A., Thorstad E.B., Veselov A.E., Vollset K.W., Zubchenko A.V. 2019. Pink salmon in Norway: the reluctant invader // Biological Invasions. Vol. 21. № 4. P. 1033–1054.

Williamson R.B. 1974. Further captures of pink salmon in Scottish waters // Scott. Fish. Bull. Vol. 41. P. 28–30.

Zubchenko A.V., Popov N.G., Svenning M.A. 1998. Salmon rivers on the Kola Peninsula. Some results from acclimation of pink salmon *Oncorhynchus gorbusha* (Walbaum) // ICES CM 1998/N:13. P. l–12.

УДК 597.553.1

ДИНАМИКА ОСВОЕНИЯ ЗАПАСОВ ГИЖИГИНСКО-КАМЧАТСКОЙ СЕЛЬДИ *CLUPEA PALLASII* В 2012–2021 ГГ.

Андрей Анатольевич Смирнов[1,2], Олег Валерьевич Прикоки[3]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт океанографии и рыбного хозяйства, Москва, Россия, andrsmir@mail.ru
[2]Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия
[3]Магаданский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (МагаданНИРО), Магадан, Россия, prikoki@mail.ru

Аннотация. Показаны этапы истории освоения запасов гижигинско-камчатской сельди. Проанализирована динамика освоения запасов этой сельди в 2012–2021 гг. Приведены прогнозируемые уловы, фактический вылов и освоение гижигинско-камчатской сельди в рассматриваемый период. Говорится о том, что изменение режима эксплуатации этой сельди привело к значительному росту освоения ее запасов, от 5–6 до 92% от рекомендованных объемов. При этом усиление интенсивности освоения запаса в последние годы не оказало на структуру популяции и биологические показатели гижигинско-камчатской сельди негативного влияния.

Ключевые слова: сельдь, запас, промысел, вылов, освоение, этап

DYNAMICS OF RESOURCE DEVELOPMENT OF GIZHIGIN-KAMCHATKA HERRING *CLUPEA PALLASII* IN 2012–2021

Andrey A. Smirnov[1,2], Oleg V. Prikoki[3]

[1]Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia, andrsmir@mail.ru
[2]North-Eastern State University, Magadan, Russia
[3]Magadan Branch of VNIRO (MagadanNIRO), Magadan, Russia, prikoki@mail.ru

Abstract. Historical stages of the resource development of the Gizhigin-Kamchatka herring stock are demonstrated. Analysis of the dynamics of the development for 2012–2021 is provided. Predicted and actual catches and development of Gizhigin-Kamchatka herring stock are demonstrated for mentioned period. It is noted that the change in the operating mode of this stock has led to significant increase in the development of the resource from 5–6 to 92% of recommended volumes. At the same time, the increase in the intensity of the development of the resource in recent years has not had a negative impact on the population structure or biological indicators of the Gizhigin-Kamchatka herring.

Keywords: herring, stock, fishing, catch, development, stage

Тихоокеанская сельдь *Clupea pallasii* обитает в морях Северного Ледовитого, Атлантического и Тихого океанов, где образует различные группировки (Световидов, 1952; Парин и др., 2014; Строганов и др., 2021). В северо-восточной части Охотского моря, в Западно-Камчатской промысловой подзоне, обитает гижигинско-камчатская сельдь, основные нерестилища которой расположены на побережье Гижигинской губы зал. Шелихова (Правоторова, 1965; Науменко, 2001; Смирнов, 2009, 2014). Освоение ее запасов в историческом аспекте имеет несколько этапов.

Становление промысла (первый этап) проходило с первой половины 1920-х годов и до 1954 г. В этот период в зал. Шелихова проводился береговой лов нерестовой сельди ставными и закидными неводами (Бацаев, 2006). Средний вылов в эти годы составлял 8,1 тыс. т.

На втором этапе, с 1955 г. до начала 1970-х гг., начал развиваться и морской промысел (стали ловить и кошельковыми неводами с борта сейнеров), при этом происходила интенсивная эксплуатация запасов. Средний годовой вылов — 45,5 тыс. т.

К началу 1970-х гг., в результате чрезмерного вылова и появления подряд нескольких малочисленных поколений, запасы гижигинско-камчатской сельди снизились. На третьем этапе (период депрессии запасов), с 1974 г. по 1987 гг., промысел сельди был запрещен, ее лов велся только в Гижигинской губе в пе-

риод нереста сельди в режиме контрольного лова. Средний годовой вылов — 1,6 тыс. т.

Четвертый этап начался с 1988 г., когда ввиду того, что запасы сельди стали расти, был разрешен промысел сельди в нагульный период, а с 2002 г. — и нерестовой сельди (Смирнов, Трофимов, 2010). Этот этап продолжался до 2011 г. Среднегодовой вылов в нерестовый период в 2002–2006 гг. составлял 4,8 тыс. т, в 2007–2011 гг. этот показатель снизился до 0,3 тыс. т.

Специализированный морской лов проходил не каждый год, но ежегодно некоторое количество сельди вылавливалось в качестве прилова при промысле минтая. Средний годовой вылов в этот период составлял 11,3 тыс. т (Овчинников и др., 2018). При этом в два последних десятилетия периода (1993–2011 гг.) ее годовое освоение составляло всего 5–6% от рекомендованных объемов.

Ввиду роста запасов этой сельди и ежегодного незначительного освоения, МагаданНИРО было подготовлено обоснование о возможности изменения режима эксплуатации данного объекта промысла (Смирнов, 2011). Обоснование было принято Росрыболовством, и с 2012 г. добыча этой сельди стала осуществляться по заявительному принципу, в режиме РВ, что привело к значительному росту годового вылова (Смирнов, 2013; Смирнов и др., 2021).

Таким образом, пятый этап освоения запасов гижигинско-камчатской сельди начался с 2012 г. и продолжается по настоящее время. Особенность промысла на этом этапе состоит в том, что в последние годы основное изъятие (более 90%) происходит в преднерестовый период, в марте–апреле (Смирнов и др., 2020).

Цель настоящей работы: проанализировать динамику освоения запасов гижигинско-камчатской сельди в 2012–2021 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основой для настоящей работы послужили прогнозы ОДУ и РВ, рассчитанные на основе многолетних биологических материалов по гижигинско-камчатской сельди (112 928 экз.), собранных в 2012–2021 гг. авторами и сотрудниками Магаданского филиала ВНИРО, данных по вылову, полученных из судовых суточных донесений (ССД) и публикаций на сайте Северо-Восточного ТУ Росрыболовства, а также результатов ежегодных авиаучетов производителей в период нереста в прибрежной зоне, проводимых по разработанной методике (Смирнов, 2008). В рассматриваемый период к ежегодному вылову рекомендовалось 20,7% от биомассы промыслового запаса (Малкин, 1995).

Сбор и обработка материалов осуществлялись согласно общепринятым методикам (Плохинский, 1961; Правдин, 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 показаны прогнозируемые уловы (ОДУ, РВ), фактический вылов (тыс. т) и освоение (%) гижигинско-камчатской сельди в 2012–2021 гг. в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря.

В 2012 г., первом году после разрешения ловить по заявительному принципу, вылов, по сравнению с 2011 г., вырос в несколько раз и составил 45,1% от рекомендованного, против 6,5% в 2011 г. При этом основной вылов, составивший 21,78 тыс. т, проводился весной, а осенью было поймано 0,76 тыс. т. Неполное освоение рекомендованных к вылову объемов произошло ввиду того, что после нескольких десятилетий отсутствия промысла впервые проводился масштабный специализированный лов преднерестовой гижигинско-камчатской сельди, и судам следовало найти скопления сельди и отработать методы лова. Кроме того, в 2012 г. на весенний морской промысел гижигинско-камчатской сельди было выставлено не-

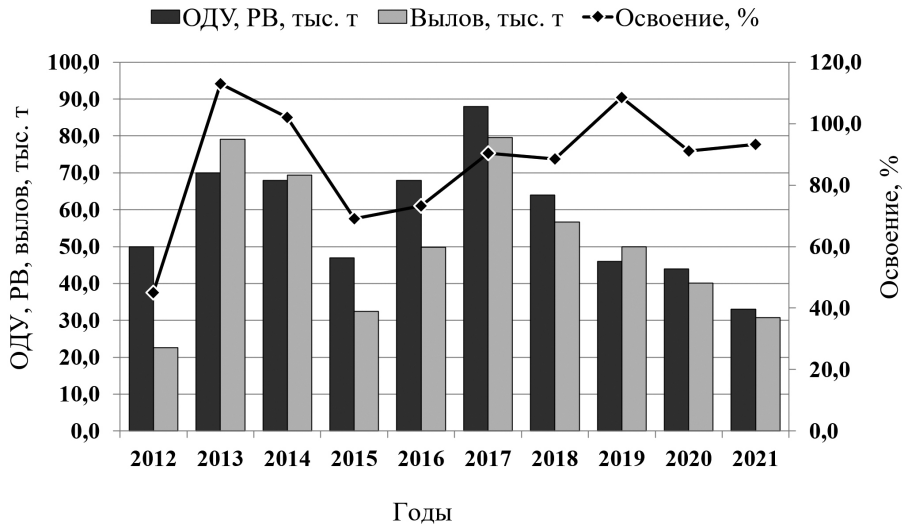

Рис. 1. Прогнозируемые уловы (ОДУ, РВ), фактический вылов (тыс. т) и освоение (%) гижигинско-камчатской сельди в 2012–2021 гг. в Западно-Камчатской подзоне Охотского моря
Fig 1. Projected catches (TAC, PC), actual catch (thousand tons) and development (%) of Gizhigin-Kamchatka herring in 2012–2021 in the West Kamchatka subzone of the Sea of Okhotsk

достаточное количество судов для полного освоения рекомендованных объемов.

В 2013–2019 гг. освоение рекомендованных годовых объемов колебалось от 69 (2015 г.) до 113% (2013 г.). При этом в нагульный период (осенью) лов проводился не каждый год и освоение составляло 0,1–3,9%, а основной промысел, в котором ежегодно участвовало от 16 (2016 г.) до 47 (2017 г.) судов, проходил в апреле. Переловы, наблюдавшиеся в отдельные годы, были вызваны тем, что при промысле в режиме РВ оперативно остановить лов невозможно. Относительно значимые недоловы, произошедшие в 2015 и 2016 гг. (69 и 73,2% соответственно) были вызваны сложной ледовой обстановкой в эти годы в апреле в районе «горла» зал. Шелихова, где концентрировались основные скопления сельди.

В 2020 г. гижигинско-камчатскую сельдь вернули в список видов водных биоресурсов, для которых устанавливается ОДУ. Это не повлияло на эффективное освоение рекомендованных для вылова объемов (в 2020 г. оно составило 91,1%, в 2021 г. — 93,3%) и позволило избежать переловов.

С 2017 г. у гижигинско-камчатской сельди наблюдается снижение запасов, следовательно, и уменьшение рекомендованных к вылову объемов.

По нашему мнению, это вызвано не чрезмерным прессом промысла, а естественными причинами — отсутствием в группе ближайшего пополнения урожайных (высокочисленных) поколений.

Известно (Науменко, 2001), что при интенсивной эксплуатации популяции рыб у них уменьшаются средние размеры и возраст, заметно сокращается численность особей старшего возраста и возрастает количество молодых рыб.

Было выполнено сравнение возрастных и размерных показателей, длины тела по возрастным группам, а также долей самок по годам в половозрелой части популяции гижигинско-камчатской сельди по материалам 1978–2011 гг., когда изъятие было незначительным, и в период масштабного промысла (2013–2020 гг.), по материалам, собранным авторами и сотрудниками МагаданНИРО, а также по архивным данным МагаданНИРО (Смирнов, 2021).

Проведенный анализ основных биологических показателей гижигинско-камчатской сельди показал, что доля крупноразмерных рыб старших возрастов, средние размеры и возраст рыб в 2013–2020 гг. повысились.

Таким образом, значительное увеличение интенсивности освоения запаса, происходящее в последние годы, не оказало на гижигинско-камчатскую сельдь негативного влияния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение с 2012 г. режима эксплуатации (перевод из ОДУ в РВ) гижигинско-камчатской сельди, обитающей в Западно-Камчатской промысловой подзоне Охотского моря, привело к значительному росту освоения ее запасов: от 5–6 до 92% от рекомендованных объемов.

Возвращение с 2020 г. этой сельди в список видов водных биоресурсов, для которых устанавливается ОДУ, не повлияло на эффективное освоение этого объекта. Вылов в 2020–2021 гг. был более 90% от рекомендованных для вылова объемов.

Усиление интенсивности освоения запаса, происходящее в последние годы, не оказало на структуру популяции и биологические показатели гижигинско-камчатской сельди негативного влияния.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бацаев И.Д. 2006. История развития рыбных промыслов и рыбной промышленности Притауйского района Магаданской области // Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря. Владивосток: Дальнаука. С. 204–225.

Малкин Е.М. 1995. Принцип регулирования промысла на основе концепции репродуктивной изменчивости популяций. // Вопр. ихтиологии. Т. 35. № 4. С. 537–540.

Науменко Н.И. 2001. Биология и промысел морских сельдей Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор. 330 с.

Овчинников В.В., Волобуев В.В., Голованов И.С., Коршукова А.М., Панфилов А.М., Прикоки О.В., Смирнов А.А. 2018. Динамика запасов и вылова основных промысловых рыб Магаданской области // Вопр. рыболовства. Т. 19. № 1. С. 5–19.

Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. 2014. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М.: Тов-во науч. изданий КМК. 733 с.

Плохинский В.А. 1961. Биометрия. Новосибирск. 364 с.

Правоторова Е.П. 1965. Некоторые данные по биологии гижигинско-камчатской сельди в связи с колебаниями ее численности и изменением ареала нагула // Изв. ТИНРО. Т. 59. С. 102–128.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

Световидов А.Н. 1952. Фауна СССР. Рыбы. Т. 2. Вып. 1. Сельдевые (Clupeidae). М.; Л.: АН СССР. 331 с.

Смирнов А.А. 2008. Аэровизуальный учет и наведение судов на скопления нерестовой гижигинско-камчатской сельди // Рыбное хозяйство. № 3. С. 48–49.

Смирнов А.А. 2009. Гижигинско-камчатская сельдь. Магадан: МагаданНИРО. 149 с.

Смирнов А.А. 2011. История промысла и современный ресурсный потенциал гижигинско-камчатской сельди / Вторая Всерос. науч.-практ. конф. «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». Петропавловск-Камчатский: КГТУ. С. 209–211.

Смирнов А.А. 2013. Гижигинско-камчатская сельдь — возобновление крупномасштабного промысла // Рыбное хозяйство. № 6. С. 69–71.

Смирнов А.А. 2014. Биология, распределение и состояние запасов гижигинско-камчатской сельди. Магадан: МагаданНИРО. 170 с.

Смирнов А.А., Семенов Ю.К., Елатинцева Ю.А., Ткаченко А.А., Горбачев В.В. 2020. Особенности промысла, возрастные и размерные показатели скоплений тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii*)

в марте–апреле 2012–2019 гг. в Западно-Камчатской промысловой подзоне Охотского моря // Междунар. журнал прикладных и фундамент. исследований. № 3. С. 18–21.

Смирнов А.А., Омельченко Ю.В., Семенов Ю.К., Елатинцева Ю.А. 2021. Особенности промысла тихоокеанской сельди (*Clupea pallasii*) в январе–апреле 2021 г. в северной части Охотского моря // Рыбное хозяйство. № 4. С. 38–43.

Смирнов А.А. 2021. Изменения биологических показателей гижигинско-камчатской сельди в периоды с различной интенсивностью освоения запаса / Матер. XXII Междунар. науч. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 225–228.

Смирнов А.А., Трофимов И.К. 2010. Краткая характеристика промысла гижигинско-камчатской сельди // Вестник СВНЦ ДВО РАН. № 3. С. 99–102.

Строганов А.Н., Семенова А.В., Рыбаков М.О., Смирнов А.А. 2021. Изменчивость морфобиологических характеристик в арктических и тихоокеанских популяциях тихоокеанской сельди *Clupea pallasii* // Вопр. ихтиологии. Т. 61. № 3. С. 326–336.

УДК 597.2/5:639.2/3(265.5)

К ИСТОРИИ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТИХООКЕАНСКИХ ВОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

Алексей Михайлович Токранов[1], Алексей Маркович Орлов[2,3]

[1]Камчатский филиал Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, tok_50@mail.ru
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[3] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия, orlov@vniro.ru

Аннотация. Дан краткий обзор истории развития ихтиологических и рыбохозяйственных исследований в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов с начала XX века до настоящего времени. Приведены основные результаты выполненных исследований. Отмечены наиболее крупные экспедиции академических и рыбохозяйственных институтов в этот район Тихого океана.

Ключевые слова: ихтиологические и рыбохозяйственные исследования, тихоокеанские воды, Юго-Восточная Камчатка, Северные Курильские острова

TO THE HISTORY OF ICHTHYOLOGICAL AND FISHERIES RESEARCHES IN THE PACIFIC WATERS OFF SOUTH-EASTERN KAMCHATKA AND NORTHERN KURIL ISLANDS

Alexey M. Tokranov[1], Alexey M. Orlov[2,3]

[1]Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of Far-Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, tok_50@mail.ru
[2]Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia, orlov@vniro.ru

Abstract. A brief overview of history of developing ichthyological and fisheries researches in the Pacific waters of South-Eastern Kamchatka and Northern Kuril Islands since beginning of the XX century to our days is given. General results of the researches are considered. The most large-scale expeditions of academic and fisheries institutes in mentioned region of the Pacific Ocean are revieved.

Keywords: ichthyological and fisheries investigations, Pacific waters, South-Eastern Kamchatka, Northern Kuril Islands

История развития ихтиологических и рыбохозяйственных исследований в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов насчитывает, по сути, всего около века. До установления советской власти на Дальнем Востоке России каких-либо целенаправленных работ по изучению видового состава морской ихтиофауны и сырьевых ресурсов рыболовства в этом районе не проводилось из-за его труднодоступности и отсутствия специализированных исследовательских и рыболовных судов, а промысел морских рыб был не развит (Орлов, 2000). Некоторый прогресс в развитии рыбохозяйственных и ихтиологических исследований наметился лишь в начале 1930-х годов, когда появились первые траулеры. Именно тогда удалось осуществить крупные по тем временам промысловые и поисковые экспедиции в различных районах дальневосточных морей (в том числе в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки), которые позволили впервые получить представление о видовом составе ихтиофауны данного района, ее наиболее многочисленных представителях (ставших впоследствии важными объектами рыболовства), а также их сезонном распределении и биологии (Засельский, 1984, 1985). По мере развития на Дальнем Востоке рыбной промышленности и научно-исследовательских центров (как отраслевых, так и академических) происходило все более обстоятельное изучение ихтиофауны и сырьевой базы рыбо-

ловства. Несколько крупных экспедиций, выполненных в тихоокеанских водах Камчатки и Северных Курильских островов, позволили получить уникальные научные материалы и организовать Тихоокеанскому научно-исследовательскому институту рыбного хозяйства и океанографии совместно с его Камчатским и Сахалинским отделениями многолетний мониторинг состояния запасов основных объектов промысла. В настоящей работе предпринята попытка на основании обобщения имеющихся на сегодня литературных данных представить хронологию развития ихтиологических и рыбохозяйственных исследований в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов с начала XX в. до наших дней и показать современное состояние изученности ихтиофауны этого района Северной Пацифики и уровень использования здесь рыбной промышленностью ресурсов морских рыб.

Материалом для публикации послужило обобщение имеющихся на сегодня литературных данных об ихтиологических и рыбохозяйственных исследованиях, выполненных экспедициями различных академических и рыбохозяйственных институтов с начала XX в. до настоящего времени в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки (участок южнее Авачинского залива от м. Поворотного до м. Лопатка) и Северных Курильских островов (участок от м. Лопатка на севере до пролива Крузенштерна на юге).

Хотя изучение морских обитателей Северной Пацифики началось почти сразу после основания в 1725 г. Петербургской академии наук и активно велось все последующие годы, Первая Камчатская экспедиция Витуса Беринга, продолжавшаяся с 1725 по 1730 гг., преследовала в основном географические цели, а поэтому в биологическом отношении ее роль оказалась крайне мала (Кафанов, 2007). Собственно морские биологические исследования в Тихом океане были начаты продолжавшейся десять лет (1743–1753 гг.) Второй Камчатской экспедицией под началом капитана-командора Витуса Беринга, в состав которой уже входили натуралисты, в том числе С.П. Крашенинников и Г.В. Стеллер. Собранные ими и участниками всех последующих крупных российских экспедиций конца XVIII – XIX вв. в северную часть Тихого океана (Дж. Биллингса – Г.А. Сарычева, И.Ф. Крузенштерна – Ю.Ф. Лисянского, и др.) естественнонаучные коллекции были переданы в Зоологический музей Академии наук и впоследствии послужили материалом для зоологических работ П.С. Палласа и В.Г. Тилезиуса. Результатом этих исследований стали первые достоверные сведения более чем о 70 видах рыб, населяющих Охотское и Берингово моря, описание целого ряда новых видов и некоторые данные об их анатомии и биологии (Кафанов, 2007). Однако поскольку преобладающая часть материалов в водах Тихого океана была собрана вблизи мест базирования экспедиций (Авачинская губа и Авачинский залив, воды Камчатского залива вблизи Усть-Камчатска и прибрежье Командорских островов), то такие труднодоступные для исследователей места, как воды Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов, до начала 30-х годов XX века оставались изученными крайне слабо.

В 1920–30-е гг., наряду с ростом промышленного освоения биологических ресурсов дальневосточных морей, началось широкомасштабное изучение всего комплекса морских обитателей данного региона и условий их существования специалистами различных научных центров. С этой целью были организованы крупные комплексные экспедиции: в 1926–1928 гг. — Тихоокеанская экспедиция Государственного гидрологического института, а в 1932–1933 гг. — Тихоокеанская комплексная экспедиция созданного в 1928 г. во Владивостоке на базе ТОНС (Тихоокеанской научно-промысловой станции) Тихоокеанского института рыбного хозяйства (ТИРХ, реорганизованного в 1934 г. в Тихоокеанский научный институт рыбного хозяйства и океанографии — ТИНРО), Государственного гидрологического института и Тихоокеанского комитета АН СССР, исследованиями которых оказались охвачены прибрежные воды всех дальневосточных морей, в том числе Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки (Засельский, 1984). В процессе этих экспедиций сотрудникам ТИРХ и других научных организаций удалось собрать информацию о составе ихтиофауны в данном районе, а также получить представление о распределении, местах образования скоплений и численности таких промысловых рыб, как треска и камбалы. С началом Великой Отечественной войны работы по изучению ихтиофауны тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки, а также особенностей распределения и биологии промысловых рыб отечественными учеными были в основном приостановлены, но в первой половине 1940-х годов появляется публикация одного из японских ихтиологов о видовом составе морских и проходных рыб из прибрежья Северных Курильских островов (Kuronuma, 1943).

Однако состав ихтиофауны и сырьевые ресурсы нижней части шельфа и верхней зоны материкового склона тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки продолжали оставаться практически неисследованными до конца

1940-х годов, хотя в период с 1948 по 1955 гг. здесь был проведен ряд морских экспедиций (на экспериментальном судне «Витязь», тральщиках «Топорок», «Лебедь», «Гага», «Изумруд»), нижний диапазон тралений которых ограничивался глубинами 400–500 м (Орлов, 2000).

Наряду с изучением видового состава и биологии рыб, а также оценкой численности и биомассы промысловых представителей ихтиофауны, проводимыми в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки сотрудниками ТИНРО и его Камчатского и Сахалинского отделений, в послевоенный период здесь по-прежнему продолжали выполнять самые разнообразные исследования различные академические научно-исследовательские институты. Наиболее существенный вклад в изучение акватории, прилегающей к Северным Курильским островам, внесли комплексные экспедиции АН СССР на судне «Витязь» в 1950–1954 гг., во время которых были получены представления о подводном рельефе этого района, его гидрологическом и гидрохимическом режимах, а также собраны материалы по видовому составу ихтиофауны, в том числе абиссальных и ультраабиссальных глубин Курило-Камчатской впадины. В процессе проведения экспедиций «Витязя» описан целый ряд новых для науки видов рыб, а в 1953 г. с глубины 7210–7230 м на широте о. Парамушир впервые выловлен один из самых глубоководных представителей ихтиофауны — морской слизень *Pseudoliparis amblystomopsis* (Андриашев, 1955). Но основным рыбохозяйственным достижением данных экспедиций, несомненно, следует считать обнаружение в тихоокеанских водах Северных Курильских островов промысловых и нерестовых скоплений минтая *Gadus chalcogrammus*, трески *G. macrocephalus*, камбал, палтусов и некоторых других видов рыб, что позволило получить представление не только об их пространственно-батиметрическом распределении и особенностях биологии, но также прийти к заключению о перспективности промысла в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и рекомендовать ряд потенциальных объектов вылова (например, получешуйников рода *Hemilepidotus*) (Расс, 1959).

С организацией в 1957 г. Беринговоморской научно-промысловой экспедиции ВНИРО–ТИНРО началось систематическое изучение батиали дальневосточных морей. В 1962–1969 гг. исследованиями были охвачены глубины от 400 до 1000 м практически всех районов Северной Пацифики, включая тихоокеанские воды Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов. Выполненные исследования, результаты которых обобщены в монографической работе д.б.н. Н.П. Новикова (1974), позволили изучить пространственно-батиметрическое распределение и особенности биологии наиболее массовых видов рыб верхней батиали этого района, а также выявить здесь наличие промысловых концентраций малоглазого *Albatrossia pectoralis* и пепельного *Coryphaenoides cinereus* макрурусов, морских окуней родов *Sebastes* (тихоокеанского клювача *S. alutus* и северного окуня *S. borealis*) и *Sebastolobus* (аляскинского *S. alascanus* и длиннoперого *S. macrochir* шипощеков), угольной рыбы *Anaplopoma fimbria* и палтусов.

С 1968 г. в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки возникает специализированный промысел северного одноперого терпуга *Pleurogrammus monopterygius*, стабильно продолжавшийся до 1974 г. с ежегодным изъятием 20–21 тыс. т. Однако уже в 1975 г. уловы снизились почти вдвое, а в 1976 г. вылов этого терпуга резко сократился и в последствии был практически прекращен. Основную причину падения уловов специалисты связывают с естественными колебаниями его численности (Золотов, 1986). Наряду с промыслом северного одноперого терпуга, в конце 1960-х годов в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов существовал непродолжительный по времени специализированный вылов морского окуня клювача, с ежегодной добычей в 1966–1970 гг. 5–10 тыс. т. Однако в дальнейшем из-за чрезмерного промыслового изъятия, а также, вероятно, под воздействием естественных факторов его численность резко снизилась, и промысел был прекращен (Орлов, 2000).

В 1967 г. гидробиологами Института биологии моря ДВНЦ АН СССР (в настоящее время — Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН) под руководством будущего академика О.Г. Кусакина начато планомерное изучение литорали дальневосточных морей России, продолжавшееся более 30 лет и охватившее свыше 60 различных районов, в том числе побережье Восточной Камчатки и Северных Курильских островов. Наряду с выходом публикаций, характеризующих ихтиофауну приливно-отливной зоны отдельных участков Северо-Западной Пацифики, в конце XX в. результаты этих многолетних исследований обобщены в специальной сводке (Кусакин и др., 1997), в которой представлена информация в том числе и о видовом составе литоральной ихтиофауны Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов.

В 1980 г. в ТИНРО была создана лаборатория прикладной биоценологии, сотрудники которой под

руководством д.б.н. В.П. Шунтова стали применять для изучения рыб дальневосточных морей экосистемные подходы. В течение 1980–1990-х годов на научно-поисковых судах ими при участии специалистов Камчатского отделения ТИНРО и других научно-исследовательских организаций выполнено несколько десятков крупных комплексных экспедиций, охвативших исследованиями всю дальневосточную экономическую зону России, в том числе тихоокеанские воды Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов. Собранные в процессе этих экспедиций новые данные и теоретические обобщения позволили получить обширную информацию о составе, структуре и некоторых функциональных характеристиках донных шельфовых и пелагических ихтиоценов прибрежных вод Камчатки и сопредельных морских акваторий (Шунтов и др., 1993; Борец, 1997; и др.), а также во многом изменить представления о природе дальневосточных морей и масштабах их биоресурсов, в том числе в тихоокеанских водах Северных Курильских островов (Шунтов, 1995).

С 1992 г. в рамках программы «Совместных российско-японских комплексных исследований резервных и недоиспользуемых объектов на скалистых, задевистых грунтах материкового склона Северных Курильских островов и юго-восточного побережья Камчатки» специалисты ВНИРО, СахНИРО и КамчатНИРО (в отдельные годы в ней также принимали участие сотрудники ТИНРО-Центра) в течение десятилетия (с 1992 по 2002 г.) проводили в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки широкомасштабное изучение сырьевых ресурсов донных и придонных рыб российской экономической зоны (Орлов, 2008). В выполнении исследований кроме специалистов вышеуказанных организаций участвовали научные сотрудники некоторых академических институтов (Зоологического института РАН; Института биологии моря, в настоящее время — Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН; Камчатского института экологии и природопользования, в настоящее время — Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН), а также АзНИИРХ и Казанского государственного университета (в отдельных рейсах принимали участие японские исследователи). Для выполнения научно-исследовательских работ и проведения экспериментального промысла были привлечены как отечественные, так и японские суда, работавшие в соответствии с межправительственным соглашением между Россией и Японией.

В процессе реализации этой многолетней программы ежегодно выполнялись учетные траловые съемки на глубинах от 100 до 850 м, что позволило получить новые данные по видовому составу рыб, встречающихся как в традиционных районах отечественного промысла, так и за их пределами (Орлов, 1998; Федоров, Парин, 1998; Федоров, 2000), а также сведения о структуре батиальных ихтиоценов тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки (Орлов и др., 2000; Токранов и др., 2000; Орлов, 2010). В результате проведения тралений на участках материкового склона со сложным рельефом дна были описаны неизвестные ранее науке и новые для фауны России редкие или малоизученные виды рыб; собран огромный материал, характеризующий встречаемость и образ жизни в этом районе различных «непромысловых» видов; пространственно-батиметрическое распределение, биологию и состояние запасов наиболее массовых представителей ихтиофауны, ряд из которых в настоящее время являются важными объектами промысла (Дудник и др., 1995; Орлов, 1996, 1998, 2010; Токранов, 1997, 2000а,б, 2004; и др.). Показано, что в настоящее время наиболее перспективными для промысла в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки являются существенно недоиспользуемые или практически не эксплуатируемые ресурсы макрурусов, азиатского стрелозубого палтуса *Atheresthes evermanni*, скатов рода *Bathyraja*, крупных представителей рогатковых (так называемых бычков) родов *Gymnocanthus*, *Hemilepidotus* и *Myoxocephalus*, запроры *Zaprora silenus*, нескольких видов бельдюговых (в первую очередь, белолинейного *Lycodes albolineatus* и буруполосого *L. brunneafasciatus* ликодов, а также коричневого слизеголова *Bothrocara brunneum*) и морских лисичек (главным образом, рода *Podothecus*). Однако их вовлечение в промысел потребует проведения специальных технологических исследований (Орлов, 2008).

Примерно в это же время (1994–2000 гг.) в рамках Международного Курильского проекта (МКП) специалистами различных академических институтов России, США и Японии совместно выполнено семь морских экспедиций, участники которых посетили и обследовали все наиболее крупные острова Курильского архипелага, в том числе его северной части (Богатов и др., 2003). Хотя основное внимание в процессе этих экспедиций было уделено изучению состава и распространения наземных растений, животных и пресноводных рыб, ученым удалось собрать также некоторый материал, характеризующий ихтиофауну морской прибрежной зоны.

Начиная с 2010 г., в рамках совместного российско-германского проекта по изучению глубоководных обитателей Северной Пацифики выполняются морские экспедиции в различных районах северо-западной части Тихого океана. Одна из таких экспедиций — KuramBio II, в которой принимали участие морские биологи из России, Германии и Японии, состоялась в 2016 г. в районе Курило-Камчатской впадины. Участниками этой экспедиции, наряду со сбором огромного объема бентосных организмов с глубины в несколько километров (по предварительной оценке, около половины из них являются новыми для науки видами), были уточнены данные о вертикальном диапазоне обитания многих организмов, в том числе рыб. И хотя изучение собранных материалов в настоящее время еще продолжается, в 2019 г. в спецвыпуске научного журнала Progress in Oceanography опубликовано несколько статей по результатам этой экспедиции, одна из которых посвящена составу ихтиофауны дальневосточных морей (в том числе тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки) на глубинах свыше 1 км (Orlov, Tokranov, 2019).

Несмотря на существующие финансовые и организационные проблемы, исследования ихтиофауны, сырьевых ресурсов, популяционной структуры и биологии основных промысловых видов рыб в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки в настоящее время по-прежнему продолжаются (Savin et al., 2019; Варкентин и др., 2021; и др.). Наряду с традиционными методами получения информации (в том числе выполнением учетных съемок, сбором биологических и биостатистических данных), все шире используются различные современные методики (например, молекулярно-генетический анализ) (Савенков и др., 2014; Smirnova et al., 2018; и др.), позволяющие лучше разобраться в популяционной структуре основных промысловых видов рыб, что дает возможность более рационально использовать их запасы.

Однако на сегодня одной из главных проблем рыбохозяйственных исследований остается информационное обеспечение обоснования прогнозов ОДУ многих видов рыб (особенно глубоководных: морских окуней, шипощеков, угольной, палтусов) в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки. В последние годы оно базируется на данных 10–15-, а нередко и 20-летней давности. В случае сохранения такой тенденции и дальше материалы обоснования ОДУ могут быть отклонены при прохождении государственной экологической экспертизы, в связи с чем рыбаки будут лишены возможности добывать дорогостоящие промысловые объекты. В условиях снижения объемов государственного финансирования ресурсных исследований, старения научного флота и уменьшения количества научно-исследовательских судов, одним из наиболее реальных источников получения информации, на наш взгляд, является расширение практики научного наблюдения на промысловых судах, что в настоящее время приобретает все большую актуальность в связи с требованиями сертификации промыслов по системе MSC при поддержке WWF. Наряду с увеличением количества научных наблюдателей на промысловых судах, целесообразно также активное внедрение новых, так называемых бесконтактных (non-invasive) технологий: например, использование дистанционно управляемых (ROV) и автономных необитаемых (AUV) подводных аппаратов, подводных видеокамер и т. д. Эти технологии пока еще дороги, но со временем (как это всегда происходит с техническими средствами, наглядным примером чему служит широкое применение сегодня в рыбохозяйственных исследованиях квадрокоптеров) они станут дешевле и доступнее для пользователей, что позволит перейти на новый уровень исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Андриашев А.П. 1955. О нахождении на глубине более 7 км новой рыбы из сем. морских слизней (Pisces, Liparidae) // Тр. ИО АН СССР. Т. 12. С. 340–344.

Богатов В.В., Питч Т.У., Журавлев Ю.Н., Стороженко С.Ю., Лелей А.С., Баркалов В.Ю., Холин С.К., Прозорова Л.А. 2003. Особенности формирования наземной и пресноводной биоты Курильского архипелага // Вестник ДВО РАН. № 3. С. 9–18.

Борец Л.А. 1997. Донные ихтиоцены российского шельфа дальневосточных морей: состав, структура, элементы функционирования и промысловое значение. Владивосток: ТИНРО-Центр. 217 с.

Варкентин А.И., Сергеева Н.П., Ильин О.И., Овсянников Е.Е. 2021. Промысел, размерно-возрастной состав, состояние запасов и перспективы вылова минтая (*Gadus chalcogrammus*, Pallas, 1814) на акватории, прилегающей к Камчатскому полуострову и Северным Курильским островам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 60. С. 5–42. DOI: 10.15853/2072-8212.2021.60.5-42

Дудник Ю.И., Орлов А.М., Ким Сен Ток, Тарасюк С.Н. 1995. Сырьевые ресурсы рыб материкового склона Северных Курильских островов // Рыбное хозяйство. № 1. С. 24–28.

Засельский В.И. 1984. Развитие морских биологических исследований на Дальнем Востоке в 1923–1941 гг. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 246 с.

Засельский В.И. 1985. Ихтиологические и гидробиологические исследования на Дальнем Востоке в 1923–1941 гг. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 220 с.

Золотов О.Г. 1986. Северный одноперый терпуг // Биол. ресурсы Тихого океана. М.: Наука. С. 310–319.

Кафанов А.И. 2007. Морские биологические исследования Российской академии наук в северной части Тихого океана (до начала XX века) // Вестник ДВО РАН. № 3. С. 137–143.

Кусакин О.Г., Иванова М.Б., Цурпало А.П. и др. 1997. Список видов животных, растений и грибов литорали дальневосточных морей России. Владивосток: Дальнаука. 168 с.

Новиков Н.П. 1974. Промысловые рыбы материкового склона северной части Тихого океана. М.: Пищ. пром-сть. 308 с.

Орлов А.М. 1996. Пространственное распределение и размерный состав наиболее массовых скорпеновых (Scorpaenidae, Pisces) мезобентали Северных Курильских островов // Изв. ТИНРО. Т. 119. С. 149–177.

Орлов А.М. 1998. Демерсальная ихтиофауна тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки // Биология моря. Т. 24. № 3. С. 146–160.

Орлов А.М. 2000. К истории рыбохозяйственных исследований в водах Курильских островов // Рыбное хозяйство. № 6. С. 37–38.

Орлов А.М. 2008. Российско-японские ихтиологические и рыбохозяйственные исследования батиали тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки / ВНИРО — 75 лет наблюдений, исследований, открытий. М.: ВНИРО. С. 252–260.

Орлов А.М. 2010. Количественное распределение демерсального нектона тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки. М.: ВНИРО. 335 с.

Орлов А.М., Токранов А.М., Тарасюк С.Н. 2000. Состав и динамика верхнебатиальных ихтиоценов тихоокеанских вод Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки // Вопр. рыболовства. Т. 1. № 4. С. 21–45.

Расс Т.С. 1959. Комплексные исследования вод Северных Курильских островов и Кроноцкого залива (Камчатка) // Тр. ИО АН СССР. Т. 36. С. 282–292.

Савенков В.В., Шпигальская Н.Ю., Варкентин А.И., Пильганчук О.А., Муравская У.О., Сараванский О.Н. 2014. Изменчивость микросателлитных локусов в выборках минтая из нерестовых скоплений Охотского, Берингова морей и тихоокеанских вод, прилегающих к Северным Курильским островам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 34. С. 72–80.

Токранов А.М. 1997. Распределение и размерно-возрастной состав угольной рыбы *Anoplopoma fimbria* в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов в 1993–1995 гг. // Вопр. ихтиологии. Т. 37. № 4. С. 568–572.

Токранов А.М. 2000а. Распределение морских окуней рода *Sebastolobus* в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов // Исслед. водных биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатный двор. Вып. V. С. 7–11.

Токранов А.М. 2000б. Размерно-возрастная структура морских окуней рода *Sebastolobus* в тихоокеанских водах Юго-Восточной Камчатки и Северных Курильских островов в условиях ограниченного промысла // Вопр. рыболовства. Т. 1. № 4. С. 58–73.

Токранов А.М. 2004. Распределение и размерно-возрастной состав окуня клювача *Sebastes alutus* (Sebastidae) в тихоокеанских водах Северных Курильских островов и Юго-Восточной Камчатки в конце XX – начале XXI веков // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 7. С. 207–214.

Токранов А.М., Дьяков Ю.П., Золотов О.Г., Полутов В.И. 2000. Состав и биомасса донных рыб в верхней батиали Юго-Восточной Камчатки в августе–сентябре 1993–1994 гг. / Промыслово-биол. исслед. рыб в тихоок. водах Курильских о-вов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг.: Сб. науч. тр. М.: ВНИРО. С. 72–78.

Федоров В.В. 2000. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб Северных Курильских островов / Промыслово-биол. исслед. рыб в тихоок. водах Курильских о-вов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг.: Сб. науч. тр. М.: ВНИРО. С. 7–41.

Федоров В.В., Парин Н.В. 1998. Пелагические и бентопелагические рыбы тихоокеанских вод России (в пределах 200-мильной экономической зоны). М.: ВНИРО. 154 с.

Шунтов В.П. 1995. Экосистемные исследования биологических ресурсов дальневосточных морей // Вестник ДВО РАН. № 3. С. 3–13.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. 1993. Минтай в экосистемах дальневосточных морей. Владивосток: *ТИНРО*. 426 *с*.

Kuronuma K. 1943. The fishes of the northern part of Kurile Island // Bull. Biogeogr. Soc. Jap. Vol. 13. № 16. P. 101–124. (In Japanese)

Orlov A.M., Tokranov A.M. 2019. Checklist of deep-sea fishes of the Russian Northwestern Pacific Ocean found at depths below 1000 m // Progress in Oceanography. Vol. 176. Art.102143. DOI: 10.1016/j.pocean.2019.102143

Savin A.V., Panchenko V.V., Balanov A.A. 2019. The current structure of the ichthyocene on the continental shelf's outer edge and upper slope of the Northern Kuril Islands and South-Eastern Kamchatka // J. Ichthyology. Vol. 59. № 4. P. 499–515. DOI: 10.1134/S0032945219040143

Smirnova M.A., Orlova S.Y., Orlov A.M. 2018. The population genetic organization of Pacific cod *Gadus microcephalus* in the North Pacific based on microsatellite analysis // J. Ichthyology. Vol. 59. № 4. P. 555-565. DOI: 10.1134/S0032945219040155

УДК 574.622

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗАПАСОВ ХИРОНОМИД НА ВОДОЕМАХ ЮЖНОГО УРАЛА В 2015–2020 ГГ.

Наталья Васильевна Чечулина, Сергей Вячеславович Ялковский
Уральский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (УралНИРО), Екатеринбург, Россия, uralniro@vniro.ru

Аннотация. Обобщены сведения о численности и биомассе личинок семейства хирономид рода *Chironomus* за период 2015–2020 гг., являющихся объектом промысла в водоемах Южного Урала. Приведены данные о рекомендованных выловах беспозвоночных и по фактическим выловам.
Ключевые слова: Южный Урал, хирономиды, промысловые запасы, сезонная динамика, биомасса, рекомендованный вылов

INTERANNUAL AND SEASONAL DYNAMICS OF CHIRONOMID STOCKS IN THE RESERVOIRS OF THE SOUTHERN URALS IN 2015–2020

Natalia V. Chechulina, Sergey V. Yalkovsky
Ural Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (UralNIRO), Yekaterinburg, Russia, uralniro@vniro.ru

Abstract. The information for the period 2015–2020 is summarized on the number and biomass of larvae of the chironomid family of the genus *Chironomus*, which are the object of fishing in the reservoirs of the Southern Urals. The data on the recommended catches of invertebrates and on the actual catch are given.
Keywords: Southern Urals, chironomids, commercial stocks, seasonal dynamics, biomass, recommended catch

Водные объекты Южного Урала обладают значительными запасами водных биологических ресурсов. Личинки хирономид являются наиболее многочисленной группой в зообентосе южноуральских озер и во многих водоемах составляют основу питания для аборигенных и разводимых видов рыб. Личинки хирономид являются ценным водным биологическим ресурсом, ежегодная добыча которого в последние годы растет. Хирономиды являются кормовым объектом в садковых рыбоводческих хозяйствах, реализуются в розничной продаже рыбакам-любителям. Исследования и прогнозирование запасов личинок хирономид в водоемах Южного Урала имеет в перспективе большое практическое значение при ведении аквакультуры. Для рациональной эксплуатации этого ресурса необходимо контролировать величину его допустимого ежегодного изъятия, учитывая прогноз рекомендованного объема вылова.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Челябинская область расположена на склонах Южного Урала и прилегающих степных районах Южного Зауралья (Черняева и др., 1977). Климат территории умеренно-континентальный. Зима холодная, продолжительная. Средняя температура января от минус 15 °С на севере до минус 12,8 °С на юге, июля — от +18,7 °С на севере до +21,2 °С на юге (Рундквист, Задорина, 2013). Лето умеренно теплое. Годовая норма осадков варьирует от 250 мм на юге до 400 м на севере и 650 мм в горах. Вегетационный период продолжительностью 165–175 дней. Фонд озер Челябинской области превышает 6000 озер площадью от 50 до 6000 га. Промысловой численности личинки хирономид достигают, как правило, в озерах со скудной ихтиофауной. За период 2015–2021 гг. фонд, где идет добыча мотыля, включает 34 озера общей площадью 12,5 тыс. га.

В Челябинской области основная добыча хирономид осуществляется в подледный период. Способом активного лова является рамочная ловушка с нитями

из лески различных номеров. Толщина лески и расстояние между нитями ловушки определяются размерными характеристиками отлавливаемых особей хирономид. Это позволяет регулировать промысел и не затрагивать им мелкие развивающиеся организмы, что является основой для дальнейшего воспроизводства популяции. Изъятие части популяции хирономид способствует поддержанию биомассы популяции на среднем уровне, снижает биологическую нагрузку на другие компоненты водоемов, способствует их дальнейшему развитию и стабилизации экосистемы. Добыча личинок хирономид разрешается в течение всего года, за исключением запретных сроков для добычи водных биоресурсов (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 646 от 30.10.2020).

Работы по оценке промысловых запасов личинок хирономид в Челябинской области ведутся с 2015 года на оз. Сунгуль, входящем в Каслинско-Кыштымскую систему, на оз. Большие Ирдяги в междуречье верхнего течения рек Миасс и Течи, на оз. Карагайском Верхнеуральского района. Сбор материала осуществляется дважды в год: в подледный период (февраль–март) и летний период (июль).

Количественные сборы проводились в соответствии со стандартными методиками научных гидробиологических исследований. В ранневесенний период (из-подо льда) и в летний отбор проб проводился с использованием количественного орудия лова — коробочного дночерпателя Петерсена, площадью захвата 1/40 м^2. Пробы отмывались от грунта через мельничное сито № 16, разбирались по основным группам и фиксировались 4%-м раствором формалина или 70%-м раствором спирта. Камеральная обработка материала велась по общепринятой методике (Методические рекомендации, 1984). Выбор местоположения станций и определение их общего числа проводится с таким расчетом, чтобы охватить все имеющиеся биотопы, включая участки, заросшие макрофитами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Объектом промысла являются личинки семейства хирономид рода *Chironomus* (Meigen, 1803) подотряда длинноусых комаров отряда двукрылых насекомых. Большая часть жизни представителей этого семейства протекает в воде в личиночной форме и лишь несколько дней — на стадии имаго: в воздушной среде. Однако имаго имеют решающее значение в существовании вида, так как в этот период происходит размножение и расселение насекомых.

Хирономиды рода *Chironomus* обладают широкой экологической валентностью и обитают практически во всех естественных и искусственных водоемах замедленного водообмена мезо-эвтрофного типа (Мотыль.., 1983). Усиление трофии внутренних водоемов вследствие зарегулирования речного стока и увеличивающегося год от года притока в них биогенных веществ с водосборов расширяет возможности расселения комаров.

Для прогнозирования запасов исключительно большое значение имеет знание биологии хирономид, поскольку присутствие личинок в водоеме и их обилие неразрывно связаны с онтогенезом насекомых. Жизненный цикл комаров-звонцов начинается с периода размножения, когда происходит массовый вылет имаго, что приводит к резкому снижению биомассы личинок. В свою очередь, появление в водоеме нового поколения влечет за собой повышение их численности. Вследствие этого пробы, отобранные в вегетационный период в различные годы, могут значительно отличаться по количественному составу и биомассе.

Численность и биомасса личинок хирономид подчинены определенному ритму и тесно связаны с сезонными изменениями. Максимальная биомасса генерации соответствует периоду, когда большая часть популяции представлена личинками старшего возраста. Фенологические наблюдения, проведенные на различных популяциях хирономид, показывают, что на зимовку уходят личинки старших возрастов, обладающих максимальной индивидуальной биомассой (Мотыль.., 1983). Как видно из рисунка 1, биомасса хирономид в подледный период в большинстве случаев превышает летние показатели.

Вылет последней летней генерации, как правило, бывает неполным (Кангур, 1977), и количественные показатели развития популяции также выше преимущественно в зимний период (рис. 2). В вегетационный период максимальная численность каждой генерации соответствует периоду появления личинок младшего возраста, что мы и наблюдали в ряде случаев, когда время отбора проб совпадало с выходом из кладок молоди хирономид (2015, 2020 гг.).

В качестве биологических индикаторов интенсивности промысла могут выступать различные популяционные показатели. В данном случае, оценка промысловых запасов хирономид производится на основе среднегодовых показателей биомассы личинок, величина которой ежегодно меняется под влиянием внешних факторов. Для водных насекомых одним из факторов, оказывающих влияние на обилие личинок, является температура воздуха и воды (рис. 3).

Интенсивность добычи хирономид на водных объектах непостоянна и подвержена колебаниям. На ин-

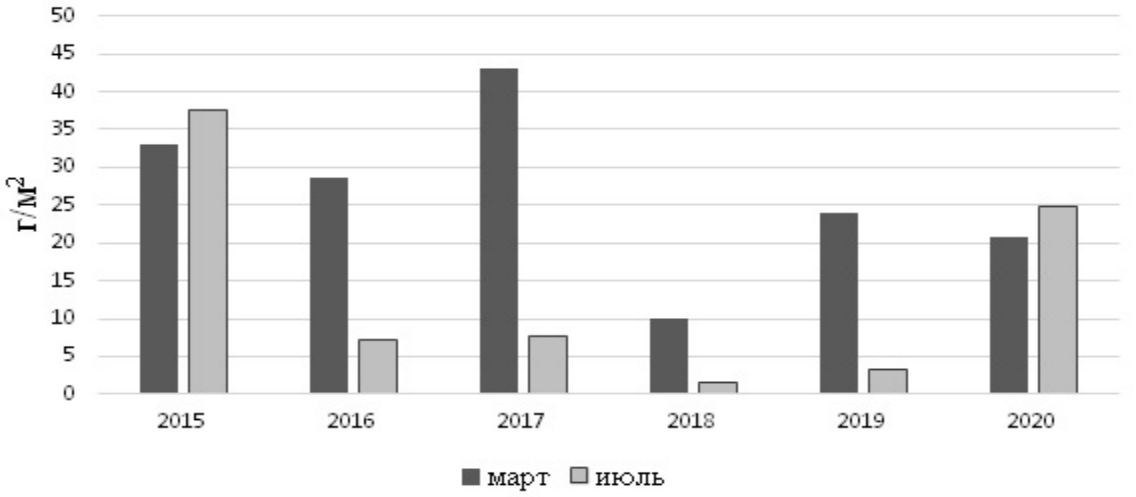

Рис. 1. Сезонная динамика биомассы личинок хирономид
Fig. 1. Seasonal dynamics of the larval chironomid biomass

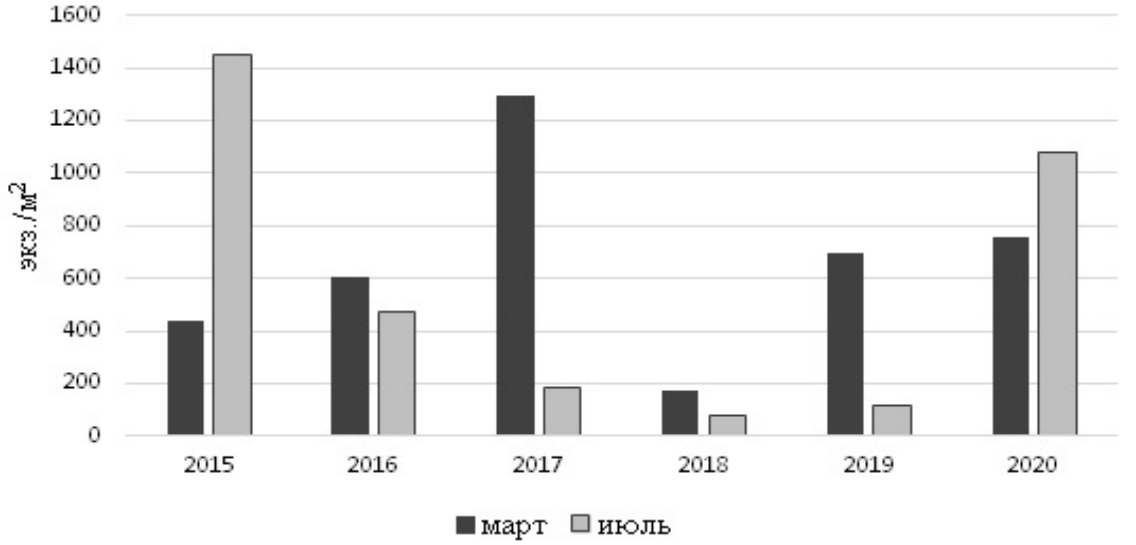

Рис. 2. Сезонная динамика численности личинок хирономид
Fig. 2. Seasonal dynamics of the larval chironomid abundance

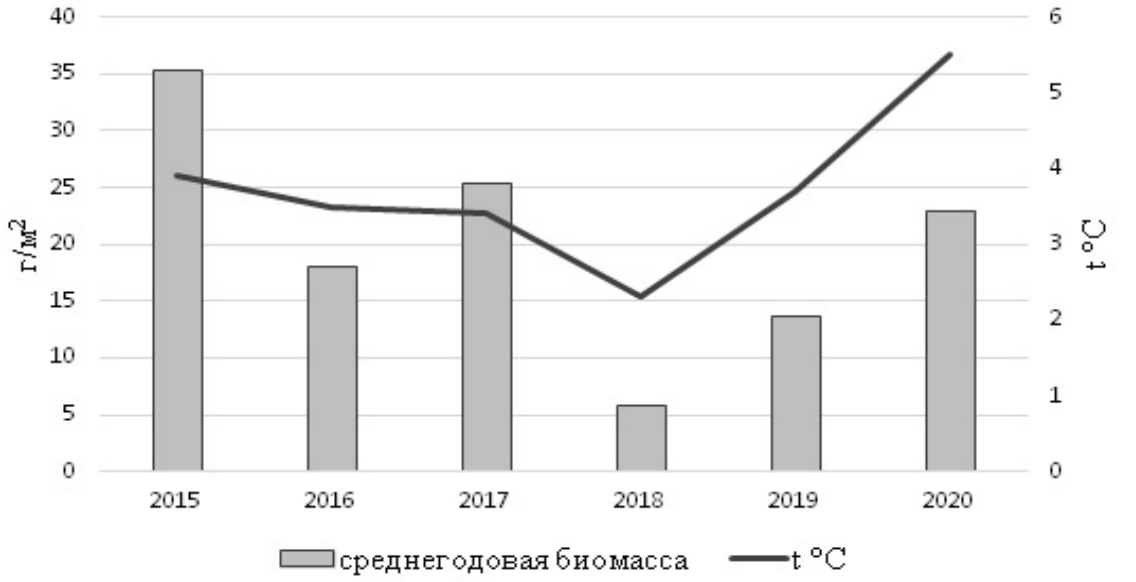

Рис. 3. Динамика среднегодовой биомассы личинок хирономид и среднегодовой температуры воздуха
Fig. 3. Dynamics of the average annual biomass of larval chironomids and average annual air temperature

тенсивность промысла влияют как климатические, биологические факторы, так и административно-организационные факторы, связанные с переоформлением и реструктуризацией рыбоводных участков и их пользователей. При выполнении данной работы проведен анализ материалов по объемам добычи хирономид на 34 водоемах Челябинской области за период с 2015 по 2020 гг. (рис. 4). Информация по вылову 2015–2020 гг. предоставлена Нижнеобским территориальным управлением Росрыболовства и Министерством сельского хозяйства Челябинской области.

Используемый фонд водных объектов определяется в год промысла, их общая площадь и количество могут существенно изменяться год от года.

В среднем промыслом осваивается на озерах и водохранилищах около 50% от рекомендуемого объема вылова хирономид.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Челябинской области добыча хирономид в 2015–2020 гг. велась с разной интенсивностью на 34 озерах, общая площадь которых 12,5 тыс. га.

Роль хирономид в формировании кормовой базы рыб в Челябинской области очень велика. Личинки используются в питании всеми бентосоядными рыбами, такими как лещ, сазан, сиг. Активно поедается всеми видами рыб (плотва, окунь, елец, язь и др.) во время подъема куколок на поверхность воды перед вылетом.

Величина вылова хирономид (заготовки) достаточно стабильна по годам и колеблется на уровне 200 т. Объемы общей добычи хирономид в Челябинской области зависят от средней годовой биомассы личинок хирономид.

Неполное освоение квоты вылова связано как с биологическими особенностями этой группы ВБР, так и с организационными вопросами промысла.

Предварительный прогноз с годичной или двухгодичной заблаговременностью обеспечивает только ориентировочные значения объемов заготовки. Для уточнения и дальнейшей корректировки возможного вылова личинок хирономид необходимо проводить определение общего запаса объектов промысла методом гидробиологической оценки плотности популяции в промысловом водоеме в период, непосредственно предшествующий заготовке.

Для сохранения естественного воспроизводства промысловых организмов, сохранения стабильности водных биоресурсов и недопущения снижения запасов ниже минимального биологически приемлемого уровня, расчет возможных уловов является необходимым условием.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Кангур К.Э. 1977. Экология и продуктивность *Chironomus plumosus* озера Выртсъярв: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Тарту: Тарт. ун-т. 26 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция. 1984. Л. 33 с.

Мотыль *Chironomus plumosus L. (Diptera, Chironomidae).* 1983. Систематика, морфология, экология, продукция / Отв. ред. Н.Ю. Соколова. М.: Наука. 309 с.

Рундквист Н.А., Задорина О.В. 2013. Урал. Иллюстрированная краеведческая энциклопедия. Екатеринбург: Уральский рабочий. 592 с.

Черняева Л.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н. 1977. Гидрохимия озер (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеоиздат. 336 с.

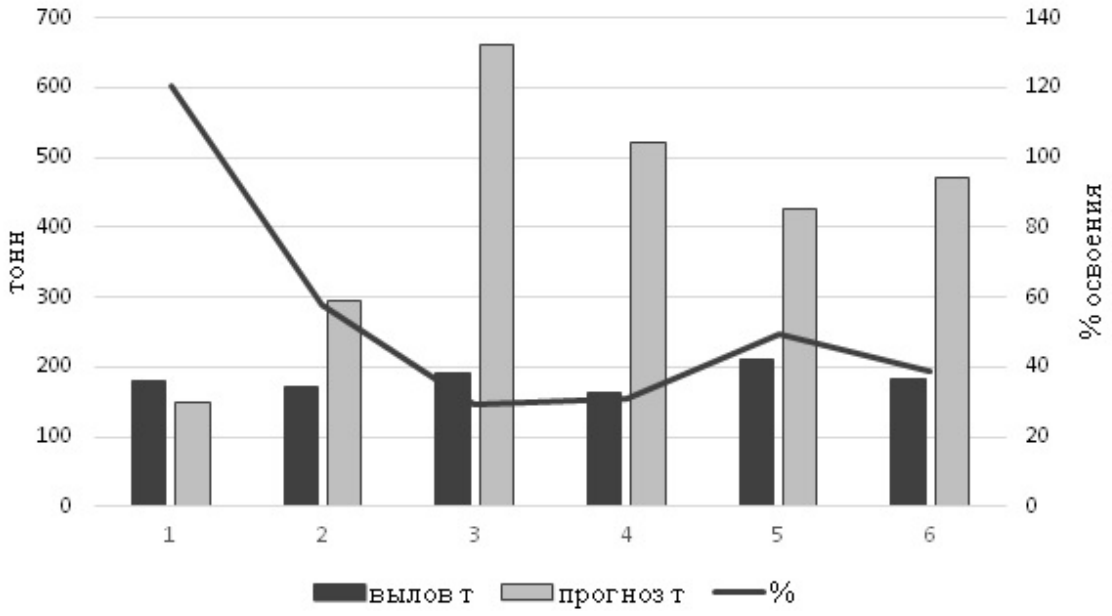

Рис. 4. Освоение промысловых запасов хирономид в водоемах Челябинской области
Fig. 4. Using the commercial stock of chironomids in the water bodies of the Chelyabinsk Region

УДК 639.2.052.2

ДИНАМИКА ЗАПАСОВ И СОСТОЯНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВА ВОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Фирдауз Мубараковна Шакирова✉[1], Ольга Константиновна Анохина[1], Андрей Анатольевич Смирнов[2,3], Гузель Дамировна Валиева[1]

[1]Татарский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТатарстанНИРО), Казань, Россия, shakirovafm@gmail.com✉
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия
[3]Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

Аннотация. По материалам ресурсных исследований 2000–2020 гг. подготовлен обзор о состоянии запасов основных промысловых рыб Куйбышевского водохранилища. Приводятся факторы внешней среды и данные о промысле, которые влияют на формирование запасов рыб. Показаны запасы основных промысловых рыб этого водохранилища и резервы мелкого частика, оптимальное освоение которого позволит довести вылов рыбы в водохранилище до 10 тыс. т и более. Для рационального рыбохозяйственного использования водохранилища необходима разработка стратегии комплексного эффективного освоения биологических ресурсов водоема на экосистемной основе, которая позволит полнее использовать биопродукционные возможности биоресурсов водоема.

Ключевые слова: Куйбышевское водохранилище, ихтиофауна, промысловые виды, мелкий частик, промысловый запас, вылов, естественное и искусственное воспроизводство

STOCK ABUNDANCE DYNAMICS AND STATE OF REPRODUCTION OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES OF THE KUYBYSHEV WATER RESERVOIR

Firdauz M. Shakirova[1], Olga K. Anokhina[1], Andrey A. Smirnov[2,3], Guzel D. Valieva[1]

[1]Tatar Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (TatarstanNIRO), Kazan, Russia, shakirovafm@gmail.com✉
[2]Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia
[3]North-Eastern State University, Magadan, Russia

Abstract. A review on the state of stocks of the major commercial fish of the Kuybyshev water reservoir was prepared based on the data of resource researches 2000–2020. Environmental and fishery effects on formation of fish stocks are demonstrated. Stocks of the major commercial fish of this water reservoir and reserves of small ordinary fish are figured out to let the total catch raise up to 10 thousand tons or more in terms of optimum development. Rational fishery use of the reservoir requires working out a strategy of complex effective development of the biological resources of the reservoir on ecosystem basis, making possible better use of bioproductive capabilities of the local biological resources.

Keywords: Kuybyshev water reservoir, fish fauna, commercial species, small ordinary fishes, commercial stock, catch, natural and artificial reproduction

Куйбышевское водохранилище, созданное вследствие перекрытия р. Волги гидротехническими сооружениями, относится к водоемам многоцелевого назначения и является крупнейшим в Европе (Кудерский, 1974). Создание водохранилища в значительной степени способствовало изменению гидрологических, гидрохимических и гидробиологических условий среды, повлекших изменение состава и структуры гидробионтов и, в частности, ихтиофауны реки.

В первые годы после перекрытия р. Волги из состава ихтиофауны водохранилища выпали реофильные виды, включавшие каспийскую миногу, севрюгу, шипа, волжскую сельдь, шемаю и др. (Цыплаков, 1974; Поддубный, 1983; Шакирова, Северов, 2014; и др.). Поимки этих видов происходили лишь в первые годы после создания водоема, за исключением отдельных случаев (Кузнецов, 2005; Шакирова, Северов, 2014; и др.). Последующие изменения в ихтиофауне

водохранилища происходили лишь за счет не столь масштабных акклиматизационных и рыбоводных работ, проводимых на водохранилище, случайного завоза видов и проникновения и расселения чужеродных видов, продолжающихся и сегодня (Лукин и др., 1971; Цыплаков, 1974; Кузнецов, 2005; Шакирова, Северов, 2014; Шакирова и др., 2015; и др.). С 1958 г. и по настоящее время в водохранилище (хоть и в недостаточном объеме) проводится выпуск растительноядных рыб, так как натурализация их в силу особенностей биологии невозможна (Павлов и др., 1994).

В настоящее время в Куйбышевском водохранилище встречаются 60 видов рыб, относящихся к 13 отрядам, 18 семействам и 45 родам. Из них 30 видов (или 50%) — промысловые, 19 (31,7%) — вселенцы, 11 (18,3%) — виды, включенные в Красную книгу Республики Татарстан (2016).

Целью настоящей работы является анализ состояния запасов основных промысловых рыб Куйбышевского водохранилища за период 2000–2020 гг. и состояния воспроизводства водных биологических ресурсов Куйбышевского водохранилища.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для данной статьи послужили данные, полученные в ходе ресурсных и мониторинговых исследований в 2000–2020 гг. на Куйбышевском водохранилище, проведенных в весенне-летний и осенний периоды на контрольно-наблюдательных пунктах, а также с научно-исследовательских судов Татарского филиала ВНИРО «Академик Берг» и «Владимир Усков».

Сбор ихтиологического материала осуществлялся с помощью ставных сетей ячеей 18,0–120,0 мм, глубоководная зона (свыше 3 м) облавливалась 18-метровым тралом конструкции ГосНИОРХ, а мелководная — до 3 м сетями и 100-метровой волокушей. Для учета личинок рыб в весенний период в пелагиали проводились траления коническими сетями ИКС-50, ИКС-80 (диаметр входного отверстия — 50 и 80 см, газ № 15) путем буксировки с лодки, в прибрежье — сачком (диаметр входного отверстия — 30 см, газ № 15), в летний период — мальковой волокушей длиной 6 м в крыльях ячеей 3,0 мм, в кутке — газ № 13, в осенний период — мальковой волокушей длиной 12 м ячеей 10,0 мм.

Сбор и обработка материала осуществлялись согласно общепринятым методическим руководствам (Правдин, 1966; Расс, Казанова, 1966; Пахоруков, 1980; Коблицкая, 1981; Методические указания.., 1990; Методические рекомендации.., 1990; Сечин, 2010; и др.).

За период исследования (2000–2020 гг.) массовые промеры рыб проведены на 206 343 экз., на возраст исследовано 76 082 экз., собрано 911 проб молоди.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

До зарегулирования реки на Средней Волге, в районе будущего Куйбышевского водохранилища наиболее многочисленными были лещ, щука, судак, синец, плотва, язь, окунь, уклейка и др. Достаточно много встречалось стерляди. Общие промысловые речные уловы колебались от 13,5 до 19,1 тыс. ц в год (Лукин, 1961; Поддубный, 1983; Кузнецов, 2005).

Сейчас основными промысловыми видами рыб Куйбышевского водохранилища являются виды, на которые устанавливается ОДУ: лещ, судак, сазан, щука, сом, стерлядь; рекомендованного вылова (РВ): тюлька, плотва, густера, синец, чехонь, карась, язь, жерех, уклейка, белоглазка, белый толстолобик, налим, окунь и берш.

Стихийное формирование ихтиофауны Куйбышевского водохранилища в период его становления, нередко неблагоприятные условия для размножения рыб препятствовали созданию в водоеме больших промысловых запасов ценных видов. Тогда как второстепенные и малоценные рыбы, обладая высокой экологической пластичностью, резко увеличили свою численность. Этому способствовало также практически полное отсутствие работ по реконструкции ихтиофауны путем увеличения численности хозяйственно значимых высокоценных видов (Цыплаков, 1980).

В период заполнения водохранилища, благодаря наличию значительных нерестовых площадей, развитию богатой кормовой базы (зоопланктон и зообентос), появились высокоурожайные поколения, на которых в дальнейшем базировалась ихтиофауна водоема. Однако в новых условиях водохранилища изменились биологические показатели видов и свойства структуры популяций, в частности колебание их численности, которое у каждого вида имеет свои особенности. В водохранилищах важную роль в колебании численности видов играет уровенный режим. Так, у видов, которые откладывают икру в прибрежной зоне, где велико влияние колебания уровня воды на эффективность размножения, наблюдаются значительные изменения численности. Именно в этот период на икру и личинок рыб губительно влияют сработка водохранилища и температура воды, от которых особенно сильно страдают виды, размножающиеся в прибрежье, на небольших глубинах.

Таким образом, уровень воды в Куйбышевском водохранилище в весенний период играет важную

роль для эффективного нереста фитофильных видов рыб, тогда как для пелагофильных видов его влияние не столь существенно. Если ход уровня воды в Куйбышевском водохранилище идет по первому типу уровенного режима водоема, по классификации Ю.М. Махотина (1973), который характеризуется заполнением водохранилища в апреле–мае с превышением нормального подпорного уровня, то это обеспечивает высокую эффективность нереста фитофильных видов рыб водохранилища.

Численность личинок на ранних этапах развития может быть основным показателем при оценке успешности нереста, поскольку он близок к количеству отложенной икры.

Видовой состав сеголеток рыб, исследованный в осенний период 2013–2020 гг., подтверждает, что лещ при благоприятных для размножения условиях дает значительное пополнение; относительно высокую численность в уловах имеют сеголетки тюльки и серебряного карася, а также плотвы и густеры, что свидетельствует о высокой выживаемости молоди этих видов (Шакирова и др., 2021).

Способом определения урожайности по самому раннему этапу жизни рыб — личинкам — было определено, что благоприятные факторы среды, и прежде всего уровенный режим, создают условия для появления высокоурожайного поколения рыб (Северов и др., 2018). Сводная информация приведена в таблице 1.

Анализ динамики промысловых запасов основных видов рыб Куйбышевского водохранилища (леща, судака, сазана, щуки, сома и стерляди) в настоящее время выявил положительный тренд, что подтверждает их благополучное состояние в водоеме. Запасы данных видов имеют тенденцию к росту. В большей степени это происходит у судака, сазана и щуки.

Промысловый запас и общий объем вылова водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища в течение 2000–2020 гг. колебались от 29 193 до 37 237 т и от 2852,8 до 4232,9 т соответственно (рис. 1), в числе которых ведущим промысловым объектом является лещ.

Важное место в уловах Куйбышевского водохранилища занимают неохраняемые виды, или мелкий частик (плотва, синец, густера, белоглазка, чехонь, окунь и др.), промысловые запасы которых в водоеме колеблются в последние годы от 12 993 т (в 2000 г.) до 19 983 т (2020 г.). При этом уловы мелкого частика изменяются от 1684 т (2000 г.) до 1941,6 т (2020 г.), составляя 45–55% от всего вылова рыбы в водохранилище (рис. 2).

Будучи многочисленными на Средней Волге, в условиях водохранилища благодаря короткоцикловости и раннему созреванию указанные выше виды стали играть заметную роль в промысловых уловах. У многих (но не у всех) неохраняемых видов важную роль в увеличении их численности в водохранилище также играет уровенный режим, а самые многочисленные поколения отмечаются в годы с повторной прибылью воды в конце мая – июне (Таиров и др., 2016). Кроме того, высокой эффективности их нереста способствуют порционность икрометания у ряда видов (густера и др.) и поздние сроки нереста, что позволяет избежать неблагоприятного воздействия нестабильного режима уровня воды в весенний период (Глазунова

Таблица 1. Средняя относительная численность личинок рыб в прибрежье Мешинского залива в 2013–2021 гг. и их урожайность
Table 1. Average relative density and stock abundance of fish larvae in the coastal waters of Meshinsky Bay in 2013–2021

Показатель, годы	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	M ± m	Доверит. интервал
Средн. относит. числ., экз./усилие	209,8	97,2	116,4	169,7	83,8	164,9	63,1	407,5	332,6	182,7	76,6
Показатель урожайности	=	↓	=	=	↓	=	↓	↑	↑	–	–

↑ — высокоурожайные поколения; = — среднеурожайные поколения; ↓ — низкоурожайные поколения

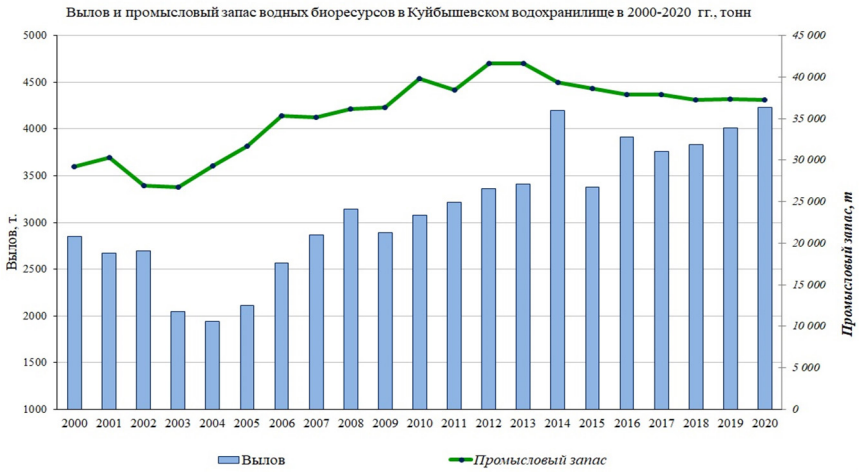

Рис. 1. Промысловый запас и общий объем вылова (т) водных биоресурсов Куйбышевского водохранилища за 2000–2020 гг.
Fig. 1. Commercial stock and total catch (t) of the aquatic biological resources of the Kuybyshev water reservoir in 2000–2020

и др., 2021). В последние десятилетия в водохранилище отмечена тенденция уменьшения численности крупных, ценных и длинноцикловых видов рыб и замещение их мелкими, менее ценными и короткоцикловыми. Увеличились показатели обилия второстепенных видов, доминирующими стали личинки плотвы, густеры, карася (Кузнецов и др., 2019).

Промысловые запасы неохраняемых видов рыб в Куйбышевском водохранилище в настоящее время превышают таковые запасы охраняемых видов в 1,2–1,5 раза и осваиваются недостаточно эффективно. Во многом это определяется организацией промысла, особенно в ранневесенний (дозапретный) период, когда высококачественная рыба с икрой пользуется большим спросом у населения, а отлов ее преднерестовых скоплений осуществляется с минимальными затратами. Тогда как оптимально осваивая в Куйбышевском водохранилище мелкого частика, уловы рыбы в водоеме можно довести до 10 тыс. т и более (Таиров и др., 2016).

Для рационального рыбохозяйственного использования биоресурсов водохранилища необходима разработка стратегии комплексного освоения биологических ресурсов на экосистемной основе, и в первую очередь — на основе обеспечения сохранения ресурсного потенциала природных сообществ (Павлов, Стриганова, 2005).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание Куйбышевского водохранилища способствовало изменению различных условий среды, повлекших изменение состава и структуры гидробионтов. Изменения, произошедшие как в экосистеме водоема, так и в условиях обитания рыб, способствовали коренной перестройке структуры стад рыб, приспособившихся к размножению при значительных колебаниях уровенного режима водоема.

Стихийное формирование ихтиофауны Куйбышевского водохранилища в период его становления, нередко неблагоприятные условия для размножения рыб препятствовали созданию в водоеме больших промысловых запасов ценных видов. Тогда как второстепенные и малоценные рыбы, обладая высокой экологической пластичностью, резко увеличили свою численность. Этому способствовало также практически полное отсутствие работ по реконструкции ихтиофауны путем увеличения численности хозяйственно значимых высокоценных видов.

Исследования состояния запасов и вылов основных промысловых рыб Куйбышевского водохранилища в настоящее время выявили существенные их резервы, способствующие дальнейшему развитию рыболовства в регионе, имеющего социальную значимость, обеспечивая занятость населения и поставляя на рынок свежую рыбу.

Рыбные запасы Куйбышевского водохранилища используются недостаточно эффективно, в первую очередь недоиспользуется мелкий частик. Оптимально осваивая в Куйбышевском водохранилище мелкого частика, уловы рыбы в водоеме можно довести до 10 тыс. т и более.

Для рационального управления биологическими ресурсами Куйбышевского водохранилища и увеличения их запасов необходимо:

– обеспечить сохранность местообитаний популяций отдельных ресурсных видов, сообществ и экосистем в целом;

– минимизировать ущерб, наносимый окружающей среде и, в первую очередь, нерестилищам стерляди при разработке и добыче нерудных строительных материалов, и организовать работы по установке искусственных нерестилищ;

– активизировать работы по искусственному воспроизводству стерляди, а также щуки, сазана, рас-

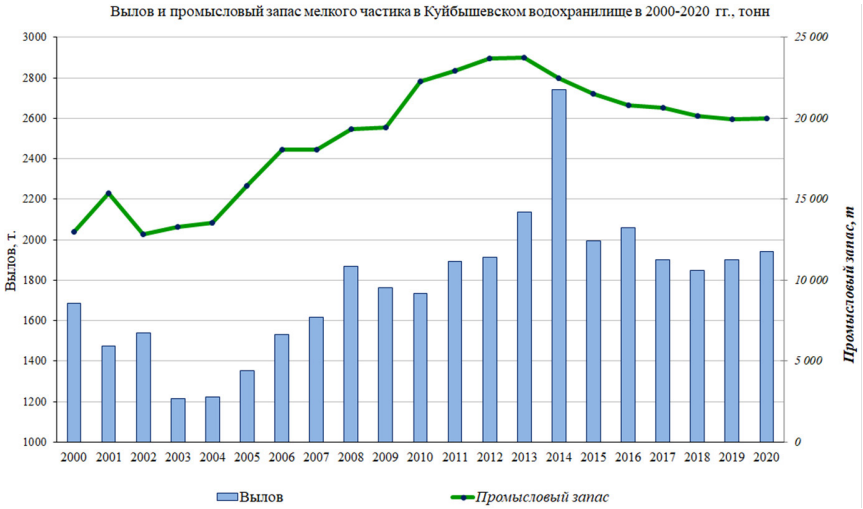

Рис. 2. Вылов и промысловый запас мелкого частика (т) в Куйбышевском водохранилище в 2000–2020 гг.
Fig. 2. The catch and commercial stock of small ordinary fishes (t) in the Kuybyshev water reservoir in 2000–2020

тительноядных видов рыб для увеличения и улучшения состава ихтиофауны водоема;

– активизировать вылов мелкого частика.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Глазунова Г.Ф., Галанин И.Ф., Гайфутдинова И.Ф., Сафина С.Ф., Смирнов А.А., Андреева Т.В., Кузнецов В.В. 2021. Современное состояние густеры *Blicca bjoerkna* (Linneus, 1758) верхней части Волжского плеса Куйбышевского водохранилища // Рыбное хозяйство. № 1. С. 42–46.

Коблицкая А.Ф. 1981. Определение молоди пресноводных рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 208 с.

Кудерский Л.А. 1974. О рыбных ресурсах водохранилищ Волжско-Камского каскада // Изв. ГосНИОРХ. Т. 95. С. 92–102.

Кузнецов В.А. 2005. Рыбы Волжско-Камского края. Казань: Kazan-Казань. 208 с.

Кузнецов В.А., Северов Ю.А., Кузнецов В.В., Шакирова Ф.М. 2019. Колебание общей численности личинок рыб и их массовых видов в зависимости от факторов среды в Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища в 2012–2018 гг. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. № 4. С. 79–86.

Лукин А.В. 1961. Куйбышевское водохранилище // Изв. ГосНИОРХ. Т. 50. С. 62–76.

Лукин А.В., Смирнов Г.М., Платонова О.П. 1971. Рыбы Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та. 85 с.

Махотин Ю.М. 1973. Эффективность размножения основных промысловых рыб и распределение их молоди в Куйбышевском водохранилище: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Казань. 22 с.

Методические рекомендации по использованию кадастровой информации для разработки прогноза вылова рыбы во внутренних водоемах. 1990. М. Ч. 1. 56 с.

Методические указания по оценке численности рыб в пресноводных водоемах. 1990. М. 51 с.

Павлов Д.С., Алиев Д.С., Шакирова Ф.М., *Нездолий В.К., Островский М.П.* 1994. Биология рыб Сарыязынского водохранилища. Москва-Ашхабад: Гидропроект. 150 с.

Павлов Д.С., Стриганова Б.Р. 2005. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований / Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Тов-во науч. изданий КМК. С. 4–20.

Пахоруков А.М. 1980. Изучение распределения рыб в водохранилищах и озерах. М.: Наука. 64 с.

Поддубный А.Г. 1983. Ихтиофауна / Куйбышевское водохранилище. М.: Наука. С. 148–170.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

Расс Т.С., Казанова И.И. 1966. Методическое руководство по сбору личинок и мальков рыб. М.: Пищ. пром-сть. 42 с.

Сечин Ю.Т. 2010. Биоресурсные исследования на внутренних водоемах. Калуга: Изд-во науч. литер. «Эйдос». 204 с.

Северов Ю.А., Кузнецов В.А., Шакирова Ф.М., Кузнецов В.В. 2018. Оценка численности ранней молоди рыб на прибрежных нерестилищах Мешинского залива Куйбышевского водохранилища // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. № 2. С. 33–40.

Таиров Р.Г., Шакирова Ф.М., Анохина О.К. 2016. К оптимизации сроков весеннего запрета на лов рыбы в водоемах Среднего Поволжья (на примере Куйбышевского водохранилища) // Вопр. рыболовства. Т. 17. № 2. С. 234–246.

Цыплаков Э.П. 1974. Расширение ареалов некоторых видов рыб в связи с гидростроительством на Волге и акклиматизационными работами // Вопр. ихтиологии. Т. 14. Вып. 3. С. 396–405.

Цыплаков Э.П. 1980. Рыбопродукционные возможности Куйбышевского водохранилища // Биология внутренних вод: Инф. бюллетень. № 47. С. 46–49.

Шакирова Ф.М., Северов Ю.А. 2014. Видовой состав ихтиофауны Куйбышевского водохранилища // Вопр. ихтиологии. Т. 54. № 5. С. 520–532.

Шакирова Ф.М., Северов Ю.А., Латыпова В.З. 2015. Современный состав чужеродных видов рыб Куйбышевского водохранилища и возможности проникновения новых представителей в экосистему водоема // Российский журнал биол. инвазий. № 3. С. 77–97.

Шакирова Ф.М., Северов Ю.А., Латыпова В.З., Терещенко В.Г., Степанова Н.Ю. 2021. Влияние уровенного режима на естественное воспроизводство рыб Куйбышевского водохранилища в 2011–2020 гг. // Российский журнал прикладной экологии. № 2. С. 23–31. DOI: 10.24852/2411-7374.2021.2.23.31

УДК 574.587:574.62

К ФИЛЬТРАЦИИ ЗНАЧЕНИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ УЛОВОВ КРАБОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ИХ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ГОДОВОГО ПРИРОСТА

Алексей Ильич Буяновский

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия, albuy@mail.ru

Аннотация. Относительный годовой прирост стандартизированных промысловых уловов крабов может отражать динамику их промыслового запаса. При стандартизации уловов методом обобщенных линейных моделей требуется удаление выбросов из входных данных. Предложены две последовательно выполняемые процедуры: выправление отношения среднего к медиане; идентификация одноименных судов с аномальными годовыми приростами средних суточных уловов. После расчета годового прироста предлагается ввести поправки на: влияние фактора сезона и число судов в промысловом районе. В основе всех этих методов лежит сочетание двух подходов: нейтрализация влияния малых объемов выборки и идентификация выбросов «методом квартилей».

Ключевые слова: промысел, стандартизированный улов, индекс запаса, краб, обобщенные линейные модели

ON FILTERING THE CRAB COMMERCIAL CATCHES VALUES TO ASSESS THEIR NORMALIZED ANNUAL INCREMENT

Alexey I. Buyanovsky

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia, albuy@mail.ru

Abstract. The relative annual increment of standardized commercial catches of crabs may reflect dynamics of the commercial stock of crabs. Standardization of the catches by the method of general linear models requires removing outliers from input data. Two successively performed procedures are proposed: straightening the ratio of the mean to the median and identification of the same vessels with abnormal annual increments in the average daily catches. After calculating the annual increment, it is proposed to introduce corrections for both effects – of the season and of the number of vessels in the fishing area. All these methods are based on a combination of two approaches: neutralization of the effect of small sample sizes and identification of outliers using the "quartile method".

Keywords: fisheries, standardized catch, stock index, crab, general linear models (GLM)

Данные по суточному вылову крабов отдельными судами (далее — уловы), содержащиеся в ежедневных судовых суточных донесениях (ССД), могут быть использованы при расчете индекса промыслового запаса (Черниенко, 2016). Но на колебания среднегодовых уловов, помимо динамики запаса, заметное влияние могут оказывать и другие факторы (Буяновский, Алексеев, 2017). Для уменьшения этого влияния первичные данные стандартизируют разными методами (Черниенко, 2021), один из которых заключается в применении обобщенных линейных моделей или GLM-метода (Gavaris, 1980). Включая в модель разные факторы (судна, месяца, орудия лова и т. д.) в качестве предикторов, удается исключить их влияние на величину годового прироста среднего суточного улова (Bentley et al., 2012; Бабаян и др., 2014; Баканев, 2019; Буяновский, 2019). Вместе с тем, если первичная информация содержит ошибки (выбросы), то никакие методы стандартизации их устранить не смогут. Как результат, вероятность искажения годового прироста, как отражения динамики запаса, будет высокой. Цель работы — найти алгоритмы, позволяющие уменьшить число выбросов как в первичной информации, так и после расчета годового прироста.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектами исследования были все единицы запаса шельфовых и глубоководных крабоидов и крабов, эксплуатируемые в режиме коммерческого лова. Не изуча-

ли колючего краба (*Paralithodes brevipes*), четырехугольного волосатого краба (*Erimacrus isrnbecki*) и краба-стригуна ангулятуса (*Chionoecetes angulatus*) в Беринговом море. Кроме того, в связи с возможными искажениями, обусловленными подменой одного вида другим, из расчетов были исключены запасы крабов-стригунов Бэрда (*Ch. bairdi*) и опилио (*Ch. opilio*) подзоны Карагинская и Корякского района зоны Западно-Беринговоморская (западнее 176° в. д.).

Материалом послужили ССД за 2013–2020 гг., хранящиеся в отраслевой системе мониторинга, откуда их извлекали с помощью специальной программы (Vasilets, 2015). Были отобраны ССД, относящиеся к одному из режимов коммерческого лова, выполнявшемуся крабовыми ловушками. Из них формировали массив первичной информации (далее — полный массив), содержащий в каждой строке одного листа MS-Excel пронумерованные сведения о названии судна, дате подачи ССД, координатах, улове.

Обработку первичных данных начинали со стратификации — разбиения рыболовной зоны или подзоны (далее — региона) на районы и разделения периода промысла на сезоны (Буяновский, Алексеев, 2017, Буяновский, 2020а, б). После стратификации к каждой строке полного массива добавляли в текстовом формате сведения о районе, сезоне и годе. Влияние других факторов в данной работе не рассматривали.

Перед началом расчетов данные подвергали предварительной фильтрации: суммировали уловы одного судна, подавшего несколько ССД в одну дату из одних и тех же координат. Также, опираясь на экспорт данных в ГИС «Картмастер» (Бизиков и др., 2013), было проанализировано распределение точек подачи ССД на карте, и те, которые располагались далеко от районов промысла, были удалены.

Идентификацию выбросов выполняли «методом квартилей» (Engineering Statistics.., 2003). В выборке находили значения первого (Q1) и третьего (Q3) квартилей; определяли межквартильное расстояние (IQR) как разницу между ними; вычисляли границы:

$$\text{внутреннюю нижнюю} = Q1 - 1{,}5*IQR; \quad \text{внутреннюю верхнюю} = Q3 + 1{,}5*IQR \qquad (1а)$$

$$\text{внешнюю нижнюю} = Q1 - 3*IQR; \quad \text{внешнюю верхнюю} = Q3 + 3*IQR \qquad (1б)$$

Выбросы, расположенные между внутренними и внешними границами, называются мягкими, за внешними границами — экстремальными.

Методики, разработка которых явилась целью работы, будут изложены ниже.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки годового прироста стандартизированных уловов вначале формировали расчетный массив (далее — двухлетний), содержащий данные об уловах в одном районе за два соседних года и содержащий сведения о судах и сезоне. Всю информацию извлекали из полного массива (см. выше). Двухлетний массив импортировали в программную среду R (пакет R-commander), где с помощью GLM-метода вычисляется коэффициент, показывающий влияние на улов фактора года — стандартизированный годовой прирост. Наряду с фактором года в модель, в качестве независимых переменных, включали факторы судна и сезона (Буяновский, 2019).

В наиболее общем виде суть GLM-метода заключается в том, что для вычисления коэффициентов влияния факторов массив дробится на ячейки «год–сезон–судно», и средние уловы (или их трансформации) из однотипных ячеек определенным образом сопоставляются для двух сравниваемых лет. Дальнейшие расчеты основаны на результатах этого сопоставления. Очевидно, что чем меньше объем попадающей в ячейку выборки (числа судо-суток), тем выше влияние неопределенности на величину среднего улова (в ячейке). Это особенно актуально для запасов среднего и малого размера (Алексеев и др., 2017), где общее число судо-суток, затрачиваемых на промысел, сравнительно невелико. Поэтому прежде чем вычислять годовой прирост, требуется проанализировать влияние элементов случайности и, по возможности, нейтрализовать их. В данной работе вначале будет рассмотрено влияние случайных элементов на уловы одного судна в пределах одного года без учета сезонности, затем — на уловы одного судна в течение двух лет без учета сезона.

Отношение среднего к медиане. Расчетные величины средних уловов зависят как от объема выборки, так и от ее максимальных значений, которые, как правило, не соответствуют реальным (Буяновский, Алексеев, 2017). Медианные значения в меньшей степени зависят от максимумов, но в расчетах GLM-методом они не предусмотрены. При соответствии распределения определенному закону отношение между средней и медианой постоянно (например, при нормальном распределении оно равно 1). Если предположить, что распределение значений промысловых уловов также соответствует определенному типу, то отношение среднего к медиане должно группироваться вокруг постоянной величины с определенными доверительными границами. Все значения отношения, расположенные за этими границами, можно считать выбросами.

В качестве первичных данных использовали уловы одного судна, работавшего в одном районе в течение одного года. Для них рассчитывали среднее, медиану и их отношение. Рассчитанные отношения группировали в пределах одной единицы запаса (Алексеев и др., 2017). Отношение считали выбросом, если оно выходило за внешние границы (формула 1б). Большинство значений располагалось в пределах внешних границ (рис. 1), а для разных видов значения самих границ могли варьировать (табл. 1).

После идентификации выбросов их преобразовывали путем последовательного чередующегося приравнивания максимальных и минимальных уловов (одного судна в одном районе за один год) к первоначальному среднему до тех пор, пока отношение новых среднего и медианы не становилось меньше, чем в таблице 1. Приравнивание начинали с максимума. Как правило, для приведения отношения в норму было достаточно одной-двух операций.

Средние суточные уловы одного судна за 2 года. При стандартизации уловов GLM-методом годовой прирост рассчитывается по данным уловов одних и тех же судов (см. выше). При серьезных изменениях в условиях работы судна в разные годы различия в уловах уже не будут связаны только с динамикой запаса. Причин изменений в условиях работы может быть много: замена капитана, смена экипажа, промыслового вооружения, приманки, категории наиболее предпочтительной продукции и т. д. Следствием может стать как резкий рост, так и снижение уловов. Одним из критериев такого критического изменения в работе судна может быть межгодовое превышение некоторого стандартного разброса значений — выброс. При его установлении работу одного и того же судна в разные годы следует уже рассматривать как работу разных судов.

Помимо изменения условий работы, значения средних уловов зависят от объема выборки: числа

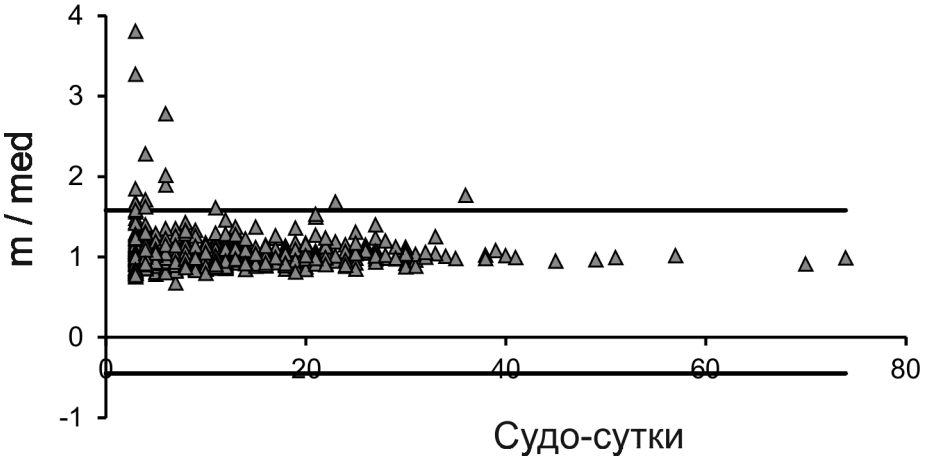

Рис. 1. Зависимость отношения среднего и медианного уловов (m/med) камчатского краба для отдельных судов, работающих в один год в одном районе подзон Западно-Камчатская и Камчатско-Курильская от числа судо-суток. Горизонтальные линии показывают внешние границы выбросов
Fig. 1. Dependence of the ratio of the average and median catches (m/med) of red king crab for individual vessels operating in same year and same district of the Western Kamchatka and Kamchatka-Kuril subzones on the number of ship-days. The horizontal lines show the outer boundaries of the outliers

Табл. 1. Средние значения и внешние границы выбросов для отношения средних и медианных уловов разных видов крабов в разных регионах
Table 1. Average values and outer limits of removing for the mean and median catches of different crab species in different regions

Вид краба	Зона или подзоны	Среднее	Верхняя граница	Нижняя граница	Объем выборки
Камчатский	Баренцево море	0,96	1,26	–0,12	104
	Северо-Охотоморская	1,26	1,97	–0,36	100
	Западно-Камчатская + Камчатско-Курильская	1,05	1,58	–0,45	629
	Приморье	1,30	2,33	–0,50	116
Синий	Западно-Беринговоморская	1,08	1,81	–0,30	80
	Западно-Камчатская + Северо-Охотоморская (восточнее 151° в. д.)	1,05	1,55	–0,22	244
	Северо-Охотоморская (западнее 149° в. д.)	1,42	2,67	–0,64	23
	Восточно-Сахалинская	1,23	1,85	–0,31	24
	Приморье	1,28	2,18	–0,44	136
Равношипый	Северо-Охотоморская, Центральная часть Охотского моря, Западно-Камчатская, Северо-Курильская, Южно-Курильская	1,07	1,56	–0,22	542
Стригун опилио	Баренцево море	0,97	1,17	–0,08	70
	Западно-Беринговоморская	1,09	1,68	–0,26	133
	Северо-Охотоморская + Западно-Камчатская	1,06	1,55	–0,21	658
	Восточно-Сахалинская	1,14	1,58	–0,22	91
	Японское море	1,10	1,82	–0,31	433
Стригун Бэрда	Петропавловск-Командорская	0,98	1,35	–0,15	25
	Камчатско-Курильская	1,05	1,50	–0,20	122
Стригун красный	Приморье + Западно-Сахалинская	1,00	1,28	–0,12	227
Стригун ангулятус	Северо-Охотоморская и Восточно-Сахалинская	1,11	1,47	–0,19	219

судо-суток, затрачиваемых одним судном на промысел в одном районе в течение одного года. При малой выборке средний улов должен варьировать в более широком диапазоне, чем при большой выборке. Это может внести неопределенность в оценку годового прироста. Если данное предположение верно, то необходимо предусмотреть некое пороговое число судо-суток, чтобы выборки объемом меньше него в расчетах по определению границ выбросов не участвовали.

В качестве первичных данных использовали оценки нестандартизированного годового прироста улова одного судна, работающего в одном районе в течение двух лет. Прирост вычисляли как отношение среднего улова в более поздний год к среднему улову в более ранний год. Каждому значению прироста (зависимой переменной) соответствовала независимая переменная — определенное число судо-суток, затрачиваемое судном на промысел в течение одного года. Чтобы не маскировать влияние на прирост малого объема выборки, из двух лет выбирали тот год, где число судо-суток было меньше, и эта величина рассматривалась как объем выборки. Для увеличения репрезентативности первичные данные объединяли в рамках одного вида в границах рыбохозяйственного бассейна.

Алгоритм оценки границ выбросов можно проиллюстрировать на примере запасов камчатского краба дальневосточных морей. Вначале был сформирован массив из первичных данных (см. выше). После построения зависимости годовых приростов от числа судо-суток выяснилось, что распределение положительных и отрицательных приростов не симметрично (рис. 2А), и это затруднит применение «метода квартилей», для которого желательно распределение, близкое к нормальному. Чтобы преодолеть это затруднение, было выполнено асимметричное преобразование:

$$[(C_t)/(C_{t-1})] - 1 \quad (2а)$$

для значений прироста не меньше 1 и

$$[-(C_{t-1})/(C_t)] + 1 \quad (2б)$$

для значений прироста меньше 1, где C_t и C_{t-1} — средние суточные уловы одного судна в более поздний и более ранний год соответственно.

Преобразованные данные позволили получить более или менее симметричное распределение значений прироста вокруг 0 (рис. 2Б, В). Поскольку некоторые выбросы очевидны (рис. 2Б), то вначале их выявили по формуле (1б) и удалили. После удаления экстремальных выбросов диапазон изменчивости приростов заметно сузился, и четко обозначилась тенденция к зависимости размаха их варьирования от объема выборки —числа судо-суток (рис. 2В). Возникает вопрос: какое число судо-суток следует установить, чтобы, во-первых, минимизировать его влияние на размах

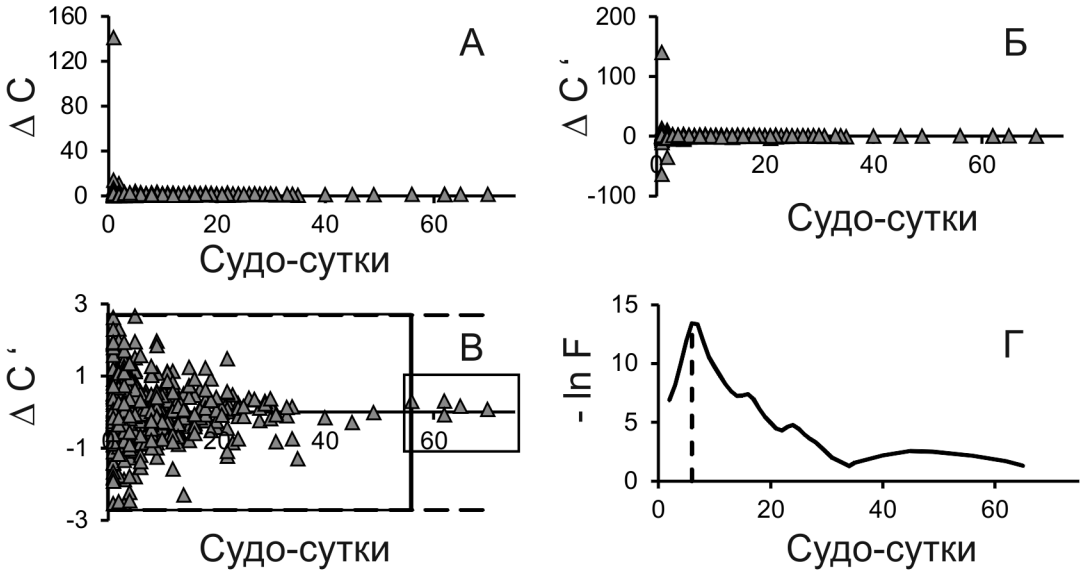

Рис. 2. Зависимость годовых приростов уловов камчатского краба в дальневосточных морях от минимального числа судо-суток, затрачиваемых одним судном в один из двух сравниваемых годов. А — исходные данные, ΔС — годовой прирост улова; Б — распределение приростов улова (ΔС′), преобразованных по формулам (2); В — то же после удаления экстремальных выбросов; горизонтальным пунктиром обозначены внешние границы, прямоугольниками ограничены совокупности значений прироста, для которых сравнивают дисперсии при пороговом значении в 56 судо-суток; Г — зависимость преобразованного F-теста (F) от порогового числа судо-суток: пунктир показывает число, при котором F-тест минимальный (оптимальное пороговое)

Fig. 2. Dependence of annual increments in catches of king crab in the Far Eastern seas on the minimum number of ship-days spent by one vessel in one of the two compared years. А – initial data, ΔС – annual increase in catch; Б – distribution of catch increments (ΔС′) converted by formulas (2); В – the same after the removal of extreme outliers; the horizontal dotted line indicates the outer boundaries, the rectangles indicate the sets of growth values for which the variances are compared at a threshold value of 56 ship-days; Г – dependence of the transformed F-test (F) on the threshold number of ship-days, the dotted line shows the number at which the F-test is minimal (optimal threshold)

варьирования приростов, и во-вторых, обеспечить максимально возможное число значений приростов для оценки границ выбросов «методом квартилей».

Для ответа было проведено сравнение всех пар дисперсий для совокупностей значений приростов, располагающихся слева и справа от каждого значения судо-суток (рис. 2В), причем само это значение относили к совокупности, расположенной на оси абсцисс правее, в области больших значений. Сравнение выполняли по величине F-теста (вероятности совпадения дисперсий), который учитывает как величину отношения дисперсий, так и объем выборки. Из всех значений судо-суток выбирали то (оптимальное пороговое), которому соответствовало наименьшее значение F-теста (рис. 2Г). Смысл поиска оптимального порогового значения заключается в отборе как можно большего числа значений прироста, свободных от влияния их широкого разброса в области малого числа судо-суток (рис. 2В).

После выбора оптимального порогового значения отбирали те значения приростов, которым соответствовало число судо-суток, не меньшее, чем это пороговое значение. Для отобранной совокупности по формуле (1а) рассчитывали границы выбросов. Предпочтение внутренних границ внешним было связано с представлением, что межгодовое изменение производительности судна может зависеть от множества причин, не связанных с динамикой запаса. После расчета выполняли обратное преобразование, получая границы для оригинальных значений годового прироста. В данном примере они оказались равными 0,46 и 2,20 (табл. 2). Если границы выбросов оценивать без учета оптимального порогового значения (при использовании всех значений приростов), то диапазон будет более широким: 0,41–2,40.

Аналогично рассуждая, были рассчитаны оптимальные пороговые значения судо-суток и пределы годового прироста, допустимые для одного судна, у остальных объектов промысла (табл. 2).

Так же, как и для выправления отношения среднего к медиане, выявление судов с аномальным годовым приростом уловов выполняется до начала вычисления коэффициентов обобщенной линейной модели. Если для судна значение годового прироста находится за пределами установленных границ (табл. 2), считают, что в разные годы в районе работало не одно, а два судна, и в двухлетний массив вносится соответствующая перекодировка.

При выборе судов для перекодировки допускалось одно асимметричное решение. Если годовой прирост был ниже граничного, а число судо-суток — больше оптимального порогового (табл. 2), то считали, что в оба года работает одно судно. Такое допущение было принято в связи с необходимостью более внимательного отношения к снижению уловов, поскольку риск не увидеть снижение запаса имеет значительно более тяжелые последствия, чем риск не увидеть его увеличения.

После фильтрации входных данных выполняется расчет стандартизированного годового прироста (см. выше). Но после обнаружения влияния на его величину размера выборки возник вопрос: а нет ли такого влияния среди других факторов, например, сезона и числа работающих на промысле судов.

Зависимость годового прироста от фактора сезона. Для оценки влияния фактора сезона все (после описанной выше фильтрации) расчеты стандартизированного годового прироста (для каждого запаса в один год в одном районе) были выполнены в двух повторностях: в первой (ΔC_{stS}) фактор сезона включали в расчет как предиктор, во второй — не включали (ΔC_{stW}). Далее для каждого судна, работающего в одном районе в течение двух сравниваемых лет, было рассчитано отношение этих приростов (далее — $\Delta C_{stS}/\Delta C_{stW}$). Это отношение считали зависимой переменной, а независимой осталось минимальное число судо-суток для двух сравниваемых лет. После проверки отсутствия влияния фактора вида (однофакторный дисперсионный анализ $p = 0{,}21$ при 258 наблюдениях) данные по всем семи видам все были слиты в единый массив (рис. 3).

Таблица 2. Оптимальные пороговые значения судо-суток и границы годовых приростов, допустимых для одного судна у разных видов крабов в разных рыбохозяйственных бассейнах
Table 2. Optimal threshold values of vessel-days and limits of annual increments allowed for one vessel for different crab species in different fishery basins

Вид краба	Бассейн	Пороговое число судо-суток	Границы годового прироста		Число наблюдений
			нижняя	верхняя	
Камчатский	Северный	20	0,70	1,48	106
	Дальневосточный	6	0,46	2,20	467
Синий	Дальневосточный	7	0,43	2,29	330
Равношипый	Дальневосточный	25	0,52	1,83	315
Стригун опилио	Северный	47	0,76	1,54	37
	Дальневосточный	16	0,51	1,85	716
Стригун Бэрда	Дальневосточный	9	0,35	2,21	71
Стригун красный	Дальневосточный	5	0,57	1,64	154
Стригун-ангулятус	Дальневосточный	45	0,54	1,49	126

Рис. 3. Зависимость преобразованных по формуле (2) отношений стандартизированных годовых приростов, вычисленных с учетом фактора сезона (ΔC_{stS}), к аналогичным приростам, вычисленным и без учета данного фактора (ΔC_{stW}), от минимального числа судо-суток в один из двух сравниваемых годов для разных видов. Вертикальная линия показывает оптимальное пороговое число судо-суток, горизонтальные линии — внутренние границы выбросов, вычисленные для совокупности значений независимой переменной, превышающих это оптимальное пороговое число. Все расчеты делали для объединенной выборки, данные по отдельным видам приведены для иллюстрации отсутствия различий, связанных с фактором вида

Fig. 3. Dependence of the ratios of standardized annual increments, calculated according to the formula (2), calculated taking into account the season factor (ΔC_{stS}), to similar increments, calculated without taking into account this factor (ΔC_{stW}), on the minimum number of ship-days in one of the two compared years for different types. The vertical line shows the optimal threshold number of ship-days, the horizontal lines show the internal outlier limits calculated for the set of values of the independent variable that exceed this optimal threshold number. All calculations were made for the pooled sample, data for individual species are given to illustrate the absence of differences associated with the species factor

Визуальная оценка распределения показала, что как и в предыдущем случае (рис. 2), разброс отношения $\Delta C_{stS}/\Delta C_{stW}$ зависел от числа судо-суток (рис. 3). Поэтому для оценки их оптимального порогового числа и определения границ выбросов был применен вышеописанный алгоритм (рис. 2). Выполнение расчетов по нему позволило установить, что при оптимальном пороговом числе в 276 судо-суток выбросы находились за пределами диапазона 0,89–1,10 (после обратного преобразования). Исходя из выполненных расчетов, можно сформулировать следующие правила:

- если отношение $\Delta C_{stS}/\Delta C_{stW}$ находится в пределах диапазона 0,89–1,10, то используется значение ΔC_{stS};
- если отношение $\Delta C_{stS}/\Delta C_{stW}$ находится за пределами диапазона 0,89–1,10, то оно приравнивается или к его верхней, или к его нижней границе, а в расчетное значение ΔC_{stS} вносится соответствующая поправка, равная значению ΔC_{stW}, умноженному на 0,89, если отношение $\Delta C_{stS}/\Delta C_{stW}$ меньше 0,89, или — на 1,10, если оно больше 1,10;
- если из-за малого объема выборки влияние хотя бы одной из градаций фактора сезона (например, периода июль–август) не вычисляется, то рекомендуется использовать значение ΔC_{stW}.

Зависимость прироста от числа одноименных судов, работавших в оба года. При включении в анализ данного фактора также возникло подозрение во влиянии на величину прироста малого объема выборки (рис. 4). Был сформирован массив, объединивший информацию по всем видам и регионам, где в качестве первичных данных использовали число одноименных судов (независимая переменная), работавших в районе в оба сравниваемых года, которому соответствовал стандартизированный годовой прирост (зависимая переменная). Выполнение расчетов по описанному выше алгоритму позволило установить, что при оптимальном пороговом числе в семь судов выбросы находились за пределами диапазона 0,55–1,64. Здесь, как и при оценке работы одного судна, считали, что если в районе работало более семи судов, а прирост был отрицательным, то его значение следует оставить неизменным, независимо от положения по отношению к границе выброса.

Эффективность предлагаемых методов можно продемонстрировать на примере запасов синего краба (*Paralithodes platypus*) из разных районов (рис. 5). При малом числе судо-суток стандартизированный годовой прирост, вычисленный без фильтрации и поправок после расчета, показывает значительно больший размах варьирования, чем при использовании этих процедур. Можно предположить, что при большом годовом усилии (больше 200 судо-суток) прирост можно вычислять без фильтрации и поправок. При небольшом усилии (менее 200 судо-суток) фильтрация и поправки необходимы.

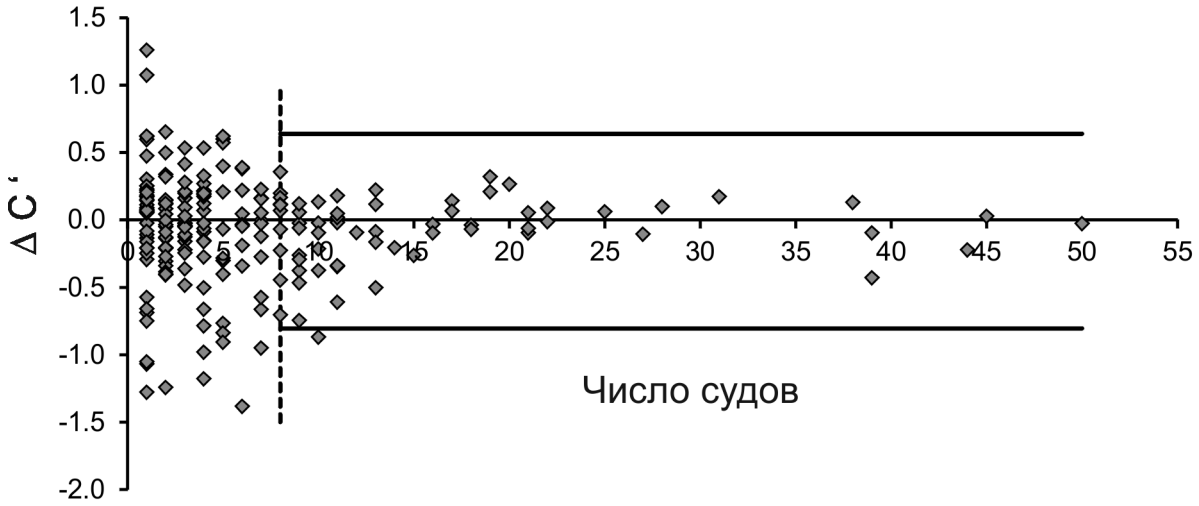

Рис. 4. Зависимость преобразованных по формуле (2) годовых приростов стандартизированных уловов (ΔCst′) разных от минимального числа одноименных судов, работавших в течение двух соседних лет в одном и том же районе. Вертикальная линия показывает оптимальное пороговое число судов, горизонтальные линии — внутренние границы выбросов, вычисленные для совокупности значений независимых переменных, превышающих это оптимальное пороговое число

Fig. 4. Dependence of the annual increments of standardized catches (ΔCst′) transformed according to formula (2) different from the minimum number of same vessels operating during two adjacent years in the same area. The vertical line shows the optimal threshold number of the vessels, the horizontal lines show the internal emission limits calculated for the set of values of the independent variable exceeding this optimal threshold number

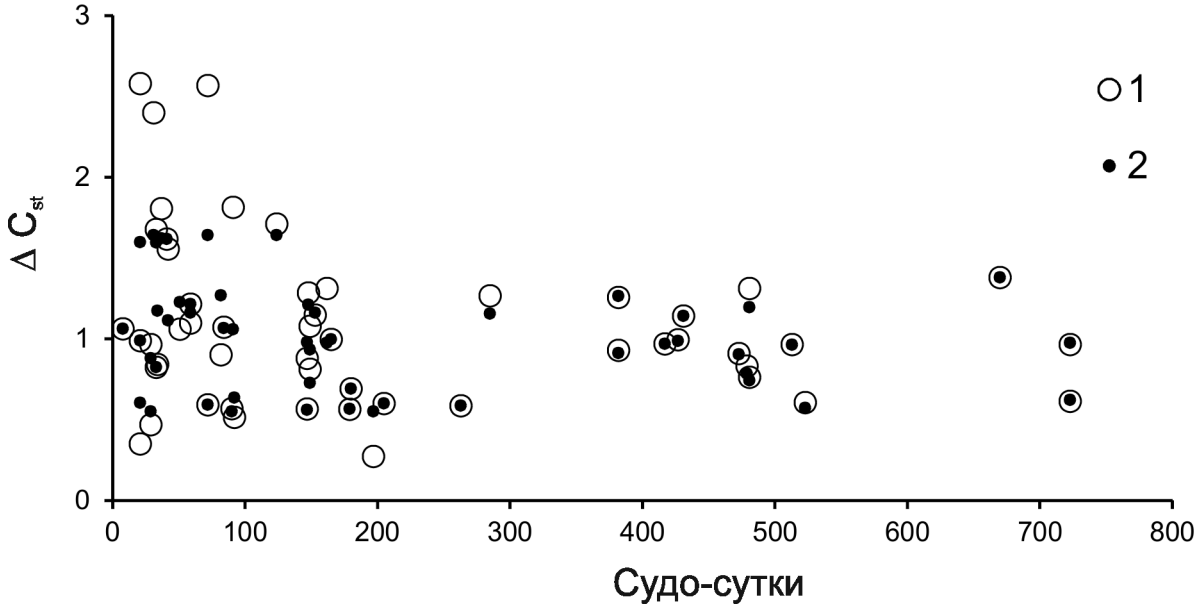

Рис. 5. Зависимость годовых приростов (ΔC_{st}) стандартизированных уловов синего краба (по оси ординат) в разных районах в разные годы от минимального числа судо-суток (по оси абсцисс) в один из двух сравниваемых годов. 1 — приросты рассчитаны без фильтрации и поправок после расчета; 2 — они же, рассчитанные с фильтрацией и поправками

Fig. 5. Dependence of annual increments (ΔC_{st}) of standardized catches of blue king crab (along the ordinate) in different areas in different years on the minimum number of ship-days (along the abscissa) in one of the two compared years. 1 – increments are calculated without filtering and corrections after calculation; 2 – they are the same, calculated with filtering and corrections

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, и до, и после вычисления коэффициента годового прироста стандартизированных уловов рекомендуется последовательно выполнять ряд поправок для идентификации и удаления выбросов. Вначале для отдельных судов приводится в соответствие отношение среднего к медиане (табл. 1), затем для одного из двух сравниваемых лет «переименовывают» суда, где годовой прирост запаса выходит за пределы, указанные в таблице 2. После вычисления коэффициентов прироста вводится поправка на фактор сезона, и в конце прирост ограничивают диапазоном 0,55–1,64.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. 2017. Принципы построения единой стратегии регулирования промысла крабов в морях России // Вопр. рыболовства. Т. 18, № 1. С. 21–41.

Бабаян В.К., Булгакова Т.И., Васильев Д.А., Михайлов А.И., Антонов И.Н., Моисеенко Г.С. 2014. Оценка запасов и ОДУ минтая восточной части Охотского моря с использованием данных ИС «Рыболовство» // Тр. ВНИРО. Т. 151. С. 3–17.

Баканев С.В. 2019. Стандартизация производительности промысла камчатского краба в российских водах Баренцева моря в 2010–2018 гг. с помощью обобщенной линейной модели / С.В. Баканев // Вопр. рыболовства. Т. 20, № 3. С. 363–373.

Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М., Поляков А.В., Попов С.Б., Сидоров Л.К. 2013. Базы данных и геоинформационные системы в управлении водными биологическими ресурсами / Матер. Первой науч. школы молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии, посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. П.А. Моисеева (Звенигород, 15–19 апреля 2013 г.). М.: ВНИРО. С. 108–133.

Буяновский А.И. 2019. Использование промысловой статистики для оценки динамики запаса краба-стригуна Бэрда // Вопр. рыболовства. Т. 20, № 4. С. 497–512.

Буяновский А.И. 2020а. Использование промысловой статистики для корректировки оценок запасов краба-стригуна опилио в морях России // Вопр. рыболовства. Т. 21, № 1. С. 106–124.

Буяновский А.И. 2020б. Динамика промысловых запасов синего краба в морях России с учетом промысловой статистики // Вопр. рыболовства. Т. 21, № 4. С. 423–439.

Буяновский А.И., Алексеев Д.О. 2017. Промысловая статистика как индикатор состояния запаса промысловых беспозвоночных // Вопр. рыболовства. Т. 18, № 3. С. 368–382.

Черниенко И.С. 2016. Моделирование динамики запаса колючего краба *Paralithodes brevipes* Южных Курильских островов конечно-разностной моделью с запаздыванием // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 1–10.

Черниенко И.С. 2021. Стандартизация производительности промысла краба-стригуна опилио западной части Берингова моря с использованием аддитивных линейных моделей // Изв. ТИНРО. Т. 201 (2). С. 359–370.

Bentley N., Kendrick T.H., Starr P.J., Breen P.A. 2012. Influence plots and metrics: tools for better understanding fisheries catch-per-unit-effort standardizations // ICES Journal of Marine Science. Vol. 69. P. 84–88.

Engineering Statistics Handbooks. 2003. Электронная книга: https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/prc/section1/prc16.htm или https://doi.org/10.18434/M32189

Gavaris S. 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data // Can. J. Fish. Aquat. Sci. Vol. 37. P. 2272–2275.

Vasilets P.M. 2015. FMS analyst – computer program for processing data from Russian Fishery Monitoring System. DOI: 10.13140/RG.2.1.5186.0962.

УДК 57.087:574.5

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОТО- И ВИДЕОСЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ У МОРСКИХ ПОБЕРЕЖИЙ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Александр Алексеевич Дуленин, Владимир Владимирович Свиридов, Александр Викторович Харитонов

Хабаровский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Хабаровск, Россия, dulenin@mail.ru, vladimir.sviridov@gmail.com, kharitonov69@bk.ru

Аннотация. В 2021 г. у открытых морских побережий западной части Татарского пролива и северной части Охотского моря выполнены гидробиологические съемки с использованием микро-ТНПА Chasing M2. Отработаны приемы и способы съемки в условиях волнения, сильного прибоя, поверхностных и придонных течений. Пульты управления ТНПА должны иметь брызгозащищенное исполнение либо использоваться в сухих рубках. Главная проблема работы на течениях — стабилизация аппарата у дна — решена за счет закрепления на фиксированном расстоянии под аппаратом грузов. Для фотосъемки аппарат опускают вниз до падения груза на дно, делая серии снимков. Видеосъемку ведут непрерывно, располагая аппарат на минимальном расстоянии груза ото дна. В зависимости от задач и схем электропитания, ТНПА перемещают при помощи движителей либо используют в режиме привязной видеокамеры. Микро-ТНПА оптимальны для съемок глубин до 30 м, ниже целесообразно использовать более тяжелые аппараты.

Ключевые слова: ТНПА, открытые морские побережья, съемка, методика

Благодарности: авторы выражают свою искреннюю признательность заведующему лабораторией прибрежных экосистем ВНИРО, к. б. н. М.В. Переладову за ценные сведения по использованию ТНПА в прибрежных исследованиях.

METHODOLOGICAL DETAILS OF PHOTO AND VIDEO SURVEYS BY MEANS OF ROVS DURING EXAMINATION OF LONG MARINE COASTLINES

Alexander A. Dulenin, Vladimir V. Sviridov, Alexander V. Kharitonov

Khabarovsk Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Khabarovsk, Russia, dulenin@mail.ru, vladimir.sviridov@gmail.com, kharitonov69@bk.ru

Abstract. In 2021, hydrobiological surveys using the Chasing M2 micro-ROV were carried out near the open sea coasts of the western Tatar Strait and the northern Sea of Okhotsk. Surveys techniques and methods in conditions of roughness, strong surf, surface and bottom currents were developed. ROV remote controllers must be splash-proof or used in dry cabins. The main problem of working on currents is to stabilize ROV above bottom. It was solved by fixing the load at a determined distance under the apparatus. For photographing, the apparatus is lowered down until the load falls to the bottom, taking series of photographs. Video recording is carried out continuously, placing the device at a minimum distance of the load from the bottom. Depending on the tasks and power supply schemes, the ROV may be moved with the propellers or used in the passive mode with locked propellers. Micro-ROVs are optimal for surveying depths of up to 30 m, below it is advisable to use heavier devices.

Keywords: ROV, open sea coastlines, survey, methodology

Acknowledgments: the authors express their sincere gratitude to the Head of the Laboratory of Coastal Ecosystems of VNIRO, Ph. D. M.V. Pereladov for valuable information on the use of ROVs in coastal studies.

В последние десятилетия телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) используются все более широко в разных областях науки и практики (Лопота, Николаев, 2016; Крылов и др., 2018; Capocci et al., 2017). Описаны методики использования подводной робототехники для технических работ (Инзарцев и др., 2018). Поскольку анализ изображений со дна является важным способом получения гидробиологических данных, дан ряд общих рекомендаций для видеоучета бентоса (Жариков, Лысенко, 2016; Tillin et al., 2018; McLean et

al., 2020). Далее были сделаны выводы о том, что ТНПА в некоторых исследованиях может заменить водолазные работы (Raoult et al., 2020). Конкретные приемы и способы съемок с ТНПА были отработаны при кратковременных выездах в благоприятных погодных условиях, преимущественно в защищенных акваториях (Дуленин, Кудревский, 2019). Однако работы, проведенные авторами настоящего сообщения в 2021 г., показали, что съемки вдоль открытых протяженных морских побережий имеют ряд важных особенностей, которые необходимо учитывать для успешного проведения исследований.

Среди специалистов, планирующих работы при помощи ТНПА, но не имеющих практики их использования, распространено мнение, что для получения результатов достаточно приобрести аппарат, опираясь на спецификации, указанные продавцом в интернете, и далее «техника все снимет». Между тем выбор подходящих аппаратов и их адекватная эксплуатация включают массу нюансов, учесть которые можно только при наличии необходимого опыта. Исследователь должен сознавать, что идеальных технических решений нет, любой прибор имеет свои недостатки и принципиальные ограничения. Поэтому задача исследователя — выбрать, с известными компромиссами, оптимальные для его задач технические и методические решения.

Цель настоящего сообщения: дать конкретные рекомендации по выбору и использованию адекватных технических средств, обеспечивающих подводную фото- и видеосъемку в условиях морских прибрежных гидробиологических съемок большой протяженности.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Использована классификация ТНПА, приведенная Крыловым с соавторами (2018). В 2021 г. при помощи ТНПА в Японском море (северо-западная часть Татарского пролива) выполнено 420 погружений на глубинах от 3 до 30 м продолжительностью от 1 до 10 мин, обследовано 430 км прибрежной зоны. В Охотском море (близ пос. Охотск) выполнено 46 погружений на глубинах от 0 до 12 м продолжительностью от 1 до 40 мин, обследовано 10 км прибрежной зоны. Погружения ТНПА проводили с берега, с борта моторной пластиковой лодки длиной 6 м, с водолазного бота длиной 6 м и с борта среднетоннажного теплохода (научно-исследовательское судно «Убежденный» Базы исследовательского флота ВНИРО) в условиях от полного штиля до высоты волны 1,5 м при скорости ветра до 6 м/с. Съемки выполняли в общем соответствии с методиками, изложенными ранее (Блинова и др., 2005; Дуленин, Кудревский, 2019). Использовали микро-ТНПА Chasing M2 (рис. 1) со следующими основными характеристиками (https://www.chasing.com/chasing-m2.html): вес подводного модуля 4,5 кг, глубина погружения до 100 м, 8 движителей, обеспечивающих движение в любом направлении с произвольным углом наклона аппарата, скорость до 3 узлов, разрешение фото 12 Мп, видео 4К, подсветка 2*2000 лм, внутренний сменный аккумулятор. Съемку выполняли, как правило, в надир (объектив камеры вертикально вниз, под углом минус 90°). Независимо от уровня естественной освещенности, снимали обычно при 100%-й яркости осветителей.

Аппарат использовали в режиме ТНПА (с активным перемещением при помощи движителей) и в режиме привязной подводной видеокамеры (с заблокированными движителями). В этом случае к носовой части аппарата на расстоянии 0,5 м от камеры при помощи лески толщиной 1 мм прикрепляли свинцовый груз весом 2 кг. Благодаря такой компоновке решались следующие технические задачи: 1) стабильная ориентация камеры аппарата в надир; 2) относительно неподвижное положение аппарата на течении и волнах при посадке грузом на дно; 3) фиксированное расстояние до грунта (0,5 м) и фиксированная площадь снимаемого пространства (1,4 м^2) при нахождении груза на дне; 4) возможность измерения объектов в центре кадра за счет применения груза стандартной формы с известными размерами.

ТНПА управляли два человека: оператор кабеля и оператор пульта. Первый по команде погружал аппарат в воду, стравливал или вытягивал кабель, доставал аппарат из воды. Второй управлял процессом съемки при помощи пульта управления, смартфона и мобильного приложения, отдавая необходимые команды оператору кабель-троса, ориентируясь

Рис. 1. ТНПА Chasing M2 с операторами
Fig. 1. ROV Chasing M2 with operators

по выводимому на экран изображению с объектами съемки и данными телеметрии.

Компактный брызгозащищенный пульт для управления движением, съемкой и освещением соединялся с аппаратом кабелем длиной 100 м с прочностью на разрыв 100 кг. Изображения, полученные ТНПА, передавались с пульта на смартфон оператора через Wi-Fi посредством специализированного мобильного приложения Chasing Go1 (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chasing.ifdive&hl=ru&gl=US) и сопровождались выводимыми на экран данными телеметрии (курс, глубина, угол наклона ТНПА) и прочими сведениями (температура воды, работа двигателей, удержание глубины, остаточный заряд батареи, состояние связи со смартфоном, состояние памяти, разрешение съемки и продолжительность текущего записываемого ролика). Для того, чтобы эти данные отображались непосредственно на картинке, каждой станции делали по нескольку скриншотов (снимков экрана) выводимых изображений, сохраняя их в памяти смартфона (рис. 2). Для работы в условиях дневного освещения в настройках выставляли максимальную яркость экрана. Параллельно с этим снимали видеоролики осматриваемых участков дна, которые сохранялись на карте памяти ТНПА. Фото и видео снимали в максимальном разрешении. Все снятые материалы ежедневно сохраняли на рабочем ПК для дальнейшей обработки и анализа. Отснято 220 видеороликов и около 2200 фотографий дна (скриншотов). Кроме того, поскольку ТНПА оснащен термодатчиком, на станциях выполнено 460 измерений придонной температуры на глубинах от 0 до 30 м. Чтобы температура термодатчика аппарата пришла в соответствие с температурой окружающей среды, его показания записывали, как правило, с последнего снимка на каждой станции, не менее чем через две минуты нахождения у дна, дождавшись, когда показания термодатчика стабилизируются на одном уровне.

Ежедневно после использования аппарат выдерживали не менее часа в пресной воде, запуская движители на 10 минут для их опреснения.

Дополнительно был проанализирован опыт использования мини-ТНПА, полученный ранее (Дуленин, Кудревский, 2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для успешного проведения исследований вдоль открытых морских побережий большой протяженности, их особенности необходимо учитывать как на стадии выбора аппаратов, так и при их эксплуатации.

Типы съемочного оборудования. Необходим адекватный выбор форм-фактора и конкретных моделей оборудования. Для малобюджетных прибрежных исследований немаловажным является вопрос соотношения цены и необходимых эксплуатационных качеств оборудования. Ключевые требования: модели должны быть относительно недорогими, легкими, компактными, иметь возможность съемки в надир, снимать фото- и видео высокого качества, обеспечивать управление съемкой в реальном времени с поверхности. Далеко не все аппараты, представленные на рынке, сочетают все эти качества.

Микро-ТНПА с автономным питанием. Группу технических решений, имеющую наибольшие перспективы использования в прибрежных исследованиях, представляют собой потребительские подводные дроны, как правило, производства КНР (https://

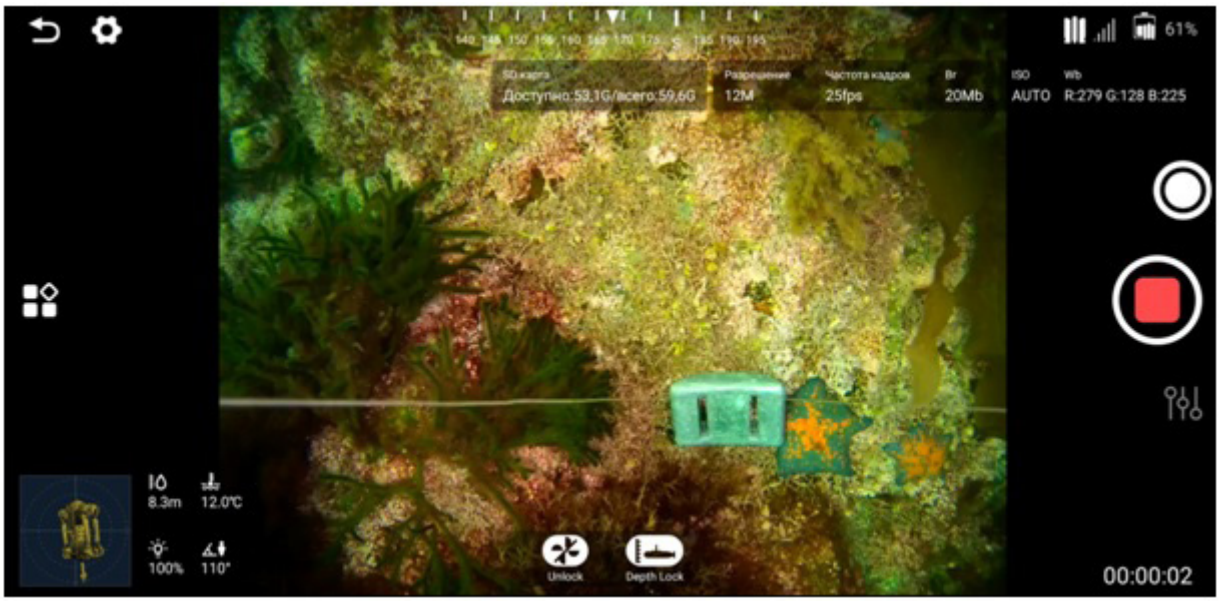

Рис. 2. Скриншот интерфейса программы Chasing Go1 с видеосъемкой дна при помощи ТНПА Chasing M2
Fig. 2. Screenshot of the Chasing Go1 program interface with bottom video recording using the Chasing M2 ROV

www.chasing.com; https://www.qysea.com; и др.). Их ключевое преимущество заключается в компактности и мобильности: комплект оборудования базовой комплектации такого аппарата занимает одно багажное место. Их можно перевозить в самолетах даже малой авиации (при емкости батарей до 100 Вт/час) и использовать с маленьких лодок. Аппараты оснащаются внутренними (встроенными или сменными) батареями, что позволяет использовать их без внешних источников питания. Они работают через небольшие брызгозащищенные пульты управления с использованием мобильных устройств и мобильных приложений, поэтому для них не требуется специальных рабочих мест и закрытых помещений. Практика показала, что такими аппаратами вполне возможно пользоваться под дождем и брызгами, во всяком случае, если мобильные устройства должным образом защищены. Кроме того, использование ручных пультов управления и мобильных приложений весьма удобно. Однако подводные модули таких аппаратов отличаются довольно слабой технической надежностью, а заявленные производителем характеристики могут не соответствовать действительности. Так, движители Chasing M2, несмотря на заявленное производителем наличие системы предотвращения заклинивания (anti-stuck system), легко забиваются при работе в воде с большим количеством взвеси. Поэтому следует избегать посадки таких аппаратов на дно на песчаных и илистых грунтах. Кроме того, при передвижении при помощи движителей реальное время работы батарей при низких температурах воды (от минус 1 до 12 °С) составило менее 1 часа при заявленной производителем автономности до 4 часов. Тем не менее даже такого времени хватало, чтобы выполнить около 20 погружений глубиной до 12 м с пребыванием на дне в течение 1–2 минут на каждой станции. В целом, если короткого времени пребывания на дне достаточно, и учитывая, что в реальных условиях мы никогда не выполняли более 20 станций в течение одного выезда, такую производительность можно признать удовлетворительной. Продолжительность зарядки батареи от сети была около 3 часов при заявленных производителем двух часах. Поэтому требуется заранее продумывать схему заряда батарей так, чтобы необходимое их количество всегда было наготове, поскольку для выполнения продолжительных видеотрансект с перемещением при помощи движителей необходимо иметь при себе определенное количество батарей для замены (как минимум, две дополнительных, желательно повышенной емкости). Существуют системы обеспечения непрерывным питанием для микро-ТНПА (https://glazamidrona.ru/aksessuary/ac-power-chasing-m2-pro-100), однако в настоящее время они, по сравнению со стоимостью самих аппаратов, довольно дороги. Таким образом, применение микро-ТНПА не лишено сложностей. Тем не менее такие устройства весьма удобны, а в условиях, когда требуется мобильность, работа ведется с небольших лодок и отсутствует защита от внешних воздействий, — совершенно безальтернативны.

Мини-ТНПА с внешним питанием. Такие аппараты отечественного производства (https://gnomrov.ru; https://rovbuilder.com) весьма надежны и устойчивы к внешним воздействиям. Однако они малокомпактны: полный комплект оборудования занимает 3–4 багажных места, что затрудняет их использование с небольших лодок, перевозки рейсовыми самолетами и т. п. Желательно, чтобы к системе можно было подключить ноутбук, с которого можно делать скриншоты экрана с выведенными на него данными телеметрии. Блоки управления отечественных аппаратов довольно велики по размерам и не защищены от влаги. Поэтому их использование требует наличия специально оборудованного рабочего места в сухой рубке. Несоблюдение этих требований приведет к тому, что при эксплуатации на открытых маломерных судах в реальных морских условиях (влага, туман, дождь, брызги морской воды) блок управления аппаратом выйдет из строя в самые короткие сроки. По этой причине выполнение съемки, проведенной в 2021 г. со штатного открытого водолазного бота, с такими аппаратами было бы просто невозможно. Кроме того, для их эксплуатации необходим источник переменного тока на 220 V. В связи с этим маломерное судно, с которого эксплуатируется аппарат, должно быть оснащено инвертором напряжения для питания от штатного аккумулятора либо портативным генератором. Таким образом, отечественные мини-ТНПА представляются оптимальным решением для использования в катерах с рубкой и штатными источниками переменного тока при относительно постоянном режиме эксплуатации подводного аппарата. В иных условиях оптимально использование автономных микро-ТНПА.

Особенности эксплуатации. Основной проблемой определения и удержания местоположения ТНПА является непроницаемость воды для сигналов спутников, из-за чего обычные системы спутникового позиционирования для них непригодны. Существуют системы подводного позиционирования (https://glazamidrona.ru/gladius/chasing-pro/ceruleanusbl, https://www.rovbuilder.com/gidroakusticheskaya-navigatsiya). Однако ТНПА не могут автоматически

зависать над нужной точкой. Такого рода функционал, по сообщению официального представителя производителей дронов Chasing в России, в настоящее время находится в стадии разработки. Имеются подводные сонары, обеспечивающие удержание нужного расстояния до дна (https://glazamidrona.ru/gladius/chasing-pro/distance-lock-sonar). Однако общая стоимость необходимых модификаций ТНПА, оснащенных этими системами и необходимым дополнительным оборудованием, будет превышать 1 млн руб. Несмотря на то, что стоимость таких систем по мере их разработки и внедрения падает, вряд ли они станут доступными по цене в ближайшие годы. В связи с этим мы выполняли позиционирование аппарата и координатную привязку получаемых фото- и видеоматериалов с поверхности с известной погрешностью, используя мобильную ГИС и специализированное ПО. Подробное рассмотрение этих процедур не входит в задачи настоящего сообщения.

Отдельную проблему представляет удержание аппарата на месте. Работа в условиях, где волнение, прибой и течения слабы или отсутствуют, позволяет аппарату относительно легко сохранять свое положение над заданной точкой дна: это необходимо для съемки хорошего качества. Однако у открытых морских побережий съемки почти всегда осложнены течениями, волнением и прибоем. Аппарат постоянно сносит движением воды, что отрицательно влияет на качество съемки. Лучше удерживают свое положение над грунтом ТНПА основного и рабочего классов, использование которых в прибрежных исследованиях не оправдано или невозможно. Такие аппараты из-за высокой цены вряд ли будут приобретаться для прибрежных исследований. Кроме того, они слишком тяжелы (от 30 до 2000 кг) для использования с небольших лодок и катеров. Ранее (Дуленин, Кудревский, 2019) было рекомендовано для фиксирования положения аппарата садить его на дно. Однако в этом случае невозможно добиться съемки в надир, которая крайне желательна для корректного количественного учета донных гидробионтов. Поэтому мы решили проблему стабилизации микро-ТНПА использованием груза на оттяжках фиксированной длины. Вместо оттяжек вполне можно использовать тонкие жесткие металлические штанги. Как только груз опускается на дно, он начинает играть роль якоря, удерживая аппарат в заданной точке и позволяя добиться хорошего качества съемки. Если планируется работа на валунных грунтах или в зарослях донной растительности, то, чтобы избежать застревания, груз должен быть обтекаемым и компактным, желательно округлой формы. Однако на незадевистых грунтах в качестве грузов можно использовать размеченные через определенные расстояния (1-5-10 см) металлические трубы или уголки длиной до 0,5 м, рамки площадью до 0,25 м^2 и т. п. орудия, позволяющие получать данные о размерах донных гидробионтов, выполнять их количественный учет и т. д. Впрочем, если аппарат оснащен лазерными указателями, от использования механических измерительных приспособлений лучше отказаться, поскольку они делают аппарат более громоздким и легко вызывают взмучивание при посадке на мягкие грунты. Такую схему можно реализовать и для мини-ТНПА. В этом случае аппарат с внешним питанием можно продолжать перемещать при помощи движителей, используя их в штатном режиме. Однако поскольку наш аппарат имел автономное питание, мы для экономии заряда батареи обычно блокировали его движители. По неопубликованным сведениям М.В. Переладова (ВНИРО), такой режим работы использовался и при эксплуатации тяжелых ТНПА. Фактически, в таких случаях аппарат использовался в режиме привязной камеры. Для нас это вполне решало проблему быстрого расхода заряда батареи, поскольку при заблокированных движителях даже одной батареи стандартной емкости на Chasing M2 в штатном режиме съемки (т. е. с погружениями на несколько минут, 100%-м освещением и съемкой 4К-видеороликов продолжительностью 1–3 минуты) хватало на целый день работы (два выезда — до и после обеда, по 15–20 погружений за каждый выезд). В связи с этим возникает резонный вопрос: не лучше ли в таких случаях использовать более компактные привязные видеокамеры? Однако детальное изучение предложений на рынке показывает, что цена камер профессионального класса сопоставима с ценой микро-ТНПА, а их блоки управления так же не защищены от влаги и громоздки, как и у мини-ТНПА (https://gnomrov.ru/products/panoramic-dcam; https://www.rovbuilder.com/vodolaznye-televizionnye-kompleksy). При этом многочисленные любительские решения имеют столь посредственное качество, что рассматривать их в качестве научно-исследовательских приборов не имеет смысла: они годятся разве что для промысловой разведки. Наша практика показала, что наиболее удобно использовать ТНПА, в зависимости от задач и условий в режиме автономного передвижения либо привязной видеокамеры. При необходимости, оснастить аппарат грузами при помощи заранее подготовленных креплений (карабинов, хомутов и т. п.) можно почти мгновенно. При работе на сильном течении вес грузов может быть увеличен до 3–4 кг. Поскольку постоянные подъемы и спуски оборудования на стан-

циях представляют для оператора существенную физическую нагрузку, желательно, чтобы рабочее плавсредство было оборудовано портативной электрической или хотя бы механической лебедкой. Практика показала, что даже тонкий кабель микро-ТПНА весьма прочен на разрыв и без каких-либо проблем выдерживает динамические нагрузки при постоянных спусках-подъемах с грузом, на волнении, при сильных течениях и т. п.

При работе с микро-ТНПА отдельные требования должны предъявляться к мобильным устройствам, используемым в работе. Их на борту должно быть не менее двух: одно основное, другое резервное. Желательно использовать планшет с диагональю экрана 8–10 дюймов, хотя вполне пригодны и обычные смартфоны. Разрешение экрана мобильных устройств должно быть не менее FullHD (1920*1080), в этом случае качество скриншотов вполне достаточно для последующего комфортного рассмотрения деталей как на мониторах ПК, так и на телевизорах с диагональю вплоть до 150 см. Такие скриншоты весьма полезны, поскольку представляют собой «портрет» станции с присутствующими непосредственно на изображении атрибутивными данными. Для работы на солнечном свету экраны должны быть высокой яркости. Мобильные устройства должны иметь высокую емкость батарей (не менее 5000 мАч). Желательно применять устройства во влагозащищенном исполнении, однако если влагозащита отсутствует, нужно использовать герметичные чехлы. В противном случае при эксплуатации в условиях дождя и брызг устройства быстро выйдут из строя.

Свои особенности имеет запись фото и видео. Если вода относительно прозрачна, осветители следует включать на 100% даже на мелководьях: это значительно улучшает резкость и детализацию изображений. Однако при существенном количестве взвеси осветители портят изображение, и использовать их следует только по необходимости. Для полного документирования результатов при достижении нужной точки дна следует включать видеозапись и выключать ее только перед подъемом на поверхность. Параллельно следует делать снимки экрана. Поскольку добиться изображений высокого качества может быть трудно, следует делать по нескольку скриншотов в каждой точке интереса, при каждой посадке на грунт, а в движении — делать регулярные снимки через короткие промежутки времени, используя серийную, интервальную или ручную съемку. Впоследствии это даст возможность выбрать лучшие снимки, отбраковав неудавшиеся. Фото и видео желательно снимать в максимальном качестве.

Для управления ТНПА наиболее удобно использование двух операторов: с кабелем и пультом управления, что обеспечивает максимальную скорость работы. В условиях ограниченной по времени съемки больших участков побережья, когда возможности исследований, помимо всего, сокращают и неблагоприятные погодные условия, управление ТНПА двумя операторами обязательно. Перед съемкой необходимо отработать слаженную работу операторов: четкое выполнение команд оператором кабеля, быстрые и аккуратные действия оператором пульта (ориентирование на местности, включение и выключение подсветки и видеозаписи, выполнение скриншотов, параллельная фиксация всех атрибутивных данных съемки). Если же объем съемки невелик, она проводится при благоприятных погодных условиях и не имеет жестких временных лимитов, с управлением ТНПА справится один человек. Оператор кабеля должен научиться действовать так, чтобы на волнении, течениях и при маневрах кабель аппарата всегда уходил под воду в передней половине лодки или бота, по направлению к носу судна или вбок, с подветренной стороны. Течение должно сносить аппарат от маломерного судна, а не под него. В противном случае возможно наматывание кабеля на винт, его порыв и потеря аппарата. Более того, обездвиживание винта бота намотанным кабелем на прибойном мелководье с глыбовыми грунтами может иметь катастрофические последствия.

Несмотря на то, что заявленная глубина погружения Chasing M2, как и большинства микро-ТНПА, составляет 100 м, наш опыт показал, что у открытых морских побережий их реальная рабочая глубина гораздо меньше. За счет сноса течением, аппарат, как правило, уходит под воду под углом 30–45° к поверхности, его кабель при этом существенно прогибается. Поэтому при наличии стандартных 100 м кабеля рабочая глубина микро-ТНПА вряд ли может превышать 50 м, особенно при необходимости маневров на дне. На таких глубинах аппарат сильно сносится придонными течениями, независимо от того, перемещается ли он при помощи движителей или используется в режиме привязной камеры. Уже на 30 м глубины работа с микро-ТНПА становится довольно сложной. В целом, микро-ТНПА можно эффективно использовать на мелководьях (ориентировочно, в пределах фитали), а мини-ТНПА — несколько глубже. Исследования бóльших глубин требуют применения более тяжелых и мощных моделей. Глубины более 50 м наиболее удобно обследовать не с лодок и ботов, а с более крупных судов (катеров и т. п.). Для этого оптимальными с точки зрения соотношения цены и

эксплуатационных характеристик представляются ТНПА основного класса российского производства (https://gnomrov.ru/products/super-gnom; https://www.rovbuilder.com/rb-600).

Типы съемки. Отдельно следует остановиться на специфике исследования разных групп объектов, выделив несколько типов съемки.

Точечные погружения. В прошлой работе (Дуленин, Кудревский, 2019) предлагалось избегать точечных погружений из-за гетерогенности сложения донных сообществ прибрежной зоны. Однако в некоторых случаях они могут быть полезны. Если необходимо установить только наличие либо отсутствие неких плотно расположенных объектов (например, наличие обыкрения на макрофитах для определения площади нерестилищ сельди), вполне достаточно очень коротких (продолжительностью до 1 минуты) точечных погружений. Во время погружения делают несколько скриншотов или фото. После этого аппарат поднимают, а бот переходит на следующую станцию. Такой режим обеспечивает наибольшую скорость работы. При относительно быстром перемещении между станциями не следует оставлять аппарат под водой, поскольку качество изображения в этом случае портится до полной неразличимости деталей. Кроме того, повышается риск повреждения кабеля винтом, заякоривания аппарата на дне и прочих нештатных ситуаций.

Короткие трансекты. Если необходимо получить качественные и количественные данные о распределении относительно часто расположенных растений и животных (заросли крупных бурых водорослей, поселения морских ежей, плотные поселения гребешка, и т. п.), оптимально выполнение коротких трансект длиной 20–50 м (иногда до 100 м) и продолжительностью 2–5 (до 10) мин. При выполнении трансекты записывают видео, параллельно делая скриншоты. Если волнение и течения не мешают съемке, а аппарат двигается медленно и стабильно, хорошие фото можно получить в движении. Однако если таких условий добиться не удается либо нужно получить высокодетальные фото отдельных объектов, аппарат периодически опускают грузом на дно до фиксации на грунте (от 3–5 до нескольких десятков посадок, в зависимости от задач и необходимого объема данных). Фото или скриншоты делают в зафиксированном положении. Такие трансекты могут быть прямыми, расположенными параллельно берегу, либо представляющими собой серию галсов. Каждая трансекта должна быть расположена в пределах одного ценотического либо ландшафтного пояса. Желательно их выполнять в дрейфе, но если это невозможно, маломерное судно должно двигаться самым малым ходом назад, при необходимости делая остановки или маневры.

Длинные трансекты. Если необходимо учитывать относительно редко расположенные объекты (гребешков на разреженных поселениях, отдельно стоящие друзы мидий, крабов, и т. п.), попадание в кадр которых при точечной съемке или на коротких трансектах будет редким, единичным или случайным, необходимо добиться, чтобы обследуемые площади были достаточны для регулярного количественного учета таких объектов. В этом случае длину трансект следует увеличить до 300–1000 м, а время выполнения каждой трансекты — до 10–30 мин (при необходимости, до 1 часа). Длина трансект должна быть подобрана таким образом, чтобы на каждой можно было снять от нескольких до нескольких десятков объектов. Выполнение трансект в целом будет аналогично описанному выше. Если объекты съемки требуют выполнения длинных трансект, она должна быть спланирована так, чтобы на их выполнение было отведено достаточно времени. При записи продолжительных видеороликов разрешение видео для экономии места на карте памяти следует снизить с 4K до FullHD, а если объекты относительно крупные и хорошо видимые — даже до HD. Кроме того, необходимо снизить до минимальных значений и частоту кадров (до 15–24 кадров в сек). Следует стремиться к тому, чтобы длинные трансекты были стандартной протяженности, и чтобы они были расположены параллельно берегу. При попадании в поле зрения учитываемых объектов желательно делать фото или скриншоты, однако при сильном течении или плохой видимости добиться качественных фото непросто. В таких случаях снимки будут служить только для фиксации наличия гидробионтов. Учет редко расположенных, отдельно встречающихся объектов можно вести непосредственно на трансекте, не оставляя его на этап камеральной обработки данных. Для корректной оценки отснятой площади крайне желательно, чтобы аппарат всегда находился на одинаковом расстоянии до дна. Если имеется сонар с функцией автоматического удержания расстояния до дна, это не представляет проблемы. Если сонар отсутствует, задача облегчается тем, что посредством выполнения длинных трансект чаще всего осматривают относительно однородные биотопы с пологим дном, где перепады рельефа не выражены. Когда аппарат перемещается при помощи движителей, можно пользоваться функцией удержания глубины (depth lock), двигаясь вдоль изобаты. Если же аппарат используется в режиме привязной камеры, необходимо регулярно выполнять касания грузом дна и удерживать глубину вручную.

Плавсредства. При планировании исследований необходимо позаботиться о наличии адекватных, должным образом оборудованных плавсредств. Желательно, чтобы маломерные суда, работающие с привязной техникой, были оборудованы двигателями с подъемной колонкой. В случае наматывания кабеля на винт это позволит освободить винт, подняв колонку.

Для работы с ТНПА на прибойных мелководьях целесообразно использовать надувные лодки длиной 4–6 м, оснащенные подвесными моторами. При обследовании мелководий такие лодки наиболее безопасны: они быстроходны, маневренны и позволяют проходить над глыбовыми навалами без риска повредить днище. Благодаря этому могут быть обследованы глубины вплоть до 1 м, что невозможно или небезопасно на других типах судов. Однако такие лодки обычно не имеют закрытых рубок, из-за чего на них можно использовать только микро-ТНПА, работающие через мобильные устройства. Если плавсредство оснащено закрытой рубкой, можно применять мини-ТНПА. Лодки следует использовать при проведении съемок с борта материнского судна. Если съемка вдоль протяженных побережий выполняется непосредственно с маломерного судна, оно должно иметь достаточную автономность и мореходность: от 0 до II категории сложности районов плавания, т. е. возможность удаления от мест убежищ не менее чем на 100 морских миль. Кроме того, у него должна быть малая осадка (до 60 см), чтобы судно можно было использовать для обследования прибойных мелководий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фото- и видеосъемка донной биоты у открытых морских побережий имеет особенности, которые необходимо учитывать при выборе и эксплуатации ТНПА. Открытые морские районы отличаются сильными поверхностными и придонными течениями, волнением, прибоем. При эксплуатации в таких условиях ТНПА необходимо стабилизировать на дне при помощи грузов на гибких оттяжках или жестких штангах. У дна следует параллельно вести непрерывную видеосъемку и многократно дублированную фотосъемку, как правило, в надир. Для обследования мелководий до 30 м и работы с открытых маломерных судов оптимальны микро-ТНПА. На бóльших глубинах целесообразно использование мини-ТНПА или аппаратов основного класса с маломерных судов, оснащенных сухими рубками. В зависимости от характеристик изучаемых объектов, съемки возможны в виде точечных погружений, коротких или протяженных трансект.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Блинова Е.И., Вилкова О.Ю., Милютин Д.М., Пронина О.А., Штрик В.А. 2005. Методические рекомендации по учету запасов промысловых гидробионтов в прибрежной зоне. М.: ВНИРО. 80 с.

Дуленин А.А., Кудревский О.А. 2019. Использование легкого телеуправляемого необитаемого подводного аппарата для морских прибрежных гидробиологических исследований // Вестник КамчатГТУ. Вып. 48. С. 6–18.

Жариков В.В., Лысенко В.Н. 2016. Распределение эпифауны макробентоса в Дальневосточном морском заповеднике ДВО РАН по материалам дистанционной подводной съемки // Биология моря. Т. 42, № 3. С. 231–240.

Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В., Матвиенко Ю.В., Павин А.М., Щербатюк А.Ф. 2018. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение. Владивосток: Ин-т проблем морских технологий ДВО РАН. 368 с.

Крылов П.В., Шарохин В.Ю., Выдра А.А., Лихович Д.А., Авилов А.С. 2018. Задачи обслуживания и мониторинга оборудования систем подводной добычи с учетом особенностей шельфовых месторождений Российской Федерации // Газовая пром-сть. № 12 (778). С. 24–30.

Лопота А.В., Николаев А.Б. 2016. Морские робототехнические комплексы военного и специального назначения. СПб.: ЦНИИ робототехники и промышл. кибернетики. 47 с.

Capocci R., Dooly G., Omerdi E., Coleman J., Newe T., Toal D. 2017. Inspection-Class Remotely Operated Vehicles – A Review // Journal of Marine Science and Engineering. Vol. 5/13. P. 1–32.

McLean D.L., Parsons M.J.G., Gates A.R., Benfield M.C., Bond T., Booth D.J., Bunce M., Fowler A.M., Harvey E.S., Macreadie P.I., Pattiaratchi C.B., Rouse S., Partridge J.C., Thomson P.G., Todd V.L.G., Jones D.O.B. 2020. Enhancing the Scientific Value of Industry Remotely Operated Vehicles (ROVs) in Our Oceans // Frontiers in Marine Science. Vol. 7. P. 10–12.

Raoult V., Tosetto L., Harvey C., Nelson T.M., Reed J., Parikh A., Chan A.J., Smith T.M., Williamson J.E. 2020. Remotely operated vehicles as alternatives to snorkellers for video-based marine research // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. Vol. 522. P. 1–10.

Tillin H.M., Luff A.A., Graham G.A., Wadsworth T.B., Shirley M.A., Dando P.A., Baldock L., van Rein H. 2018. Remotely Operated Vehicles for use in marine benthic monitoring. Marine Monitoring Platform Guidelines No.1. JNCC: Peterborough, 24 p.

УДК 597.552.511–113.4

К ВОПРОСУ О РОСТЕ ГОРБУШИ (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*) КАК ИНДИКАТОРЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЫЖИВАЕМОСТИ ЕЕ ПОКОЛЕНИЙ

Александр Михайлович Каев[1], Лариса Валериевна Ромасенко[1], Данил Александрович Каев[2]

[1]Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Южно-Сахалинск, Россия, kaev@outlook.com, lar.romas@mail.ru
[2]Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия, dan.kaev@mail.ru

Аннотация. Рост горбуши *Oncorhynchus gorbuscha*, вернувшейся на нерест на юго-восточное побережье Сахалина в 2005–2020 гг., изучен методом обратного расчисления по чешуе. Анализировали прирост длины за время формирования одного склерита, вариабельность и асимметричность размерного состава в процессе роста, которые сопоставлены с индексом выживаемости поколений в течение морского периода жизни. Установлено, что рассмотренные показатели роста могут быть индикаторами выживаемости только в ранний морской период жизни. Отмечены сходные тенденции в изменениях размерного состава по мере роста у выживших рыб с наблюдаемыми у рыб в процессе их жизни, что может отражаться на достоверности оценок размерно-селективной смертности при сопоставлении расчисленных по чешуе длин сеголеток с фактически наблюденными.

Ключевые слова: горбуша, Юго-Восточный Сахалин, чешуя, межсклеритные расстояния, темп роста, выживаемость

TO THE QUESTION ABOUT THE GROWTH OF PINK SALMON (*ONCORHYNCHUS GORBUSCHA*) AS AN INDICATOR OF POSSIBLE CHANGES IN THE SURVIVAL OF ITS GENERATIONS

Alexander M. Kaev[1], Larisa V. Romasenko[1], Danil A. Kaev[2]

[1]Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, kaev@outlook.com, lar.romas@mail.ru
[2]Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, dan.kaev@mail.ru

Abstract. Growth of pink salmon in populations of the southeastern coast of Sakhalin in returns 2005–2020 was analyzed using the method of length back-calculation from scales. We analyzed length increment for the period of forming one sclerite, the variability and the asymmetry of the size composition in the course of growth, correlating with generation survival rate for the life period at sea. It was found that the mentioned growth indices can be used as indicators of survival only in early marine period. Similar trends were revealed in the changes of size composition during the growth of survivals and in the changes observed in the fish for the whole lifetime, what can influence reliability of the estimates of length-selective mortality when we are comparing scale-based calculations and in fact underyearling length.

Keywords: Pink salmon, South-Eastern Sakhalin, scales, circuli distances, growth rate, survival

Издавна считалось, что изучение роста рыб способствует предвидению изменений их численности в популяциях (Дементьева, 1976). В последние годы возрос интерес к изучению роста тихоокеанских лососей в связи с появлением гипотезы о критическом размере, достижение которого в течение летнего нагула обеспечивает лучшие шансы выживания во время зимовки (Beamish, Mahnken, 2001; Howard et al., 2016). Стали широко обсуждаться оценки размерно-селективной смертности на основе натурных наблюдений размеров сеголеток и их длины, рассчитанной по измерениям чешуи выживших рыб (Yasumiishi et al., 2016; Beacham et al., 2017, 2018; Farley et al., 2018). Значение этого вопроса для горбуши трудно переоценить, учитывая ее роль в формировании промысловых запасов лососей в большинстве районов. Этому виду свойственна среди тихоокеанских лососей не только наиболее быстрая скорость роста, но и большая межгодовая его изменчивость. В этой связи было

предпринято изучение особенностей роста у ряда поколений горбуши с разным уровнем выживаемости (Каев, 2021). Полученные результаты в основном соответствовали известным положениям. В то же время обнаружились и некоторые особенности, степень выраженности которых могла быть связана со спецификой использованного материала. Так как центральная чешуйная пластинка (ЦЧП) у многих рыб на завершающем этапе нерестовой миграции подвержена разной степени деформации, приводящей к увеличению ее радиуса (Каев, 2015а), измерения расстояний до каждого из склеритов вели не от центра чешуи, а начиная с первого склерита. Поэтому при расчете темпов роста рыб их длина на момент появления первого склерита (ЦЧП) принималась равной 0,133 FL при возврате на нерест (Каев, 2015б). Кроме того, в имевшемся массиве обработанных данных измерений чешуи нормирование по числу склеритов к единому для всех поколений значению было осуществлено только для первой годовой зоны (ПГЗ), что изначально диктовалось выявлением особенностей роста молоди в прибрежных морских водах, условия нагула в которых специфичны в разных районах воспроизводства горбуши (Темных, 1998; Каев, 2015а). Такой подход был приемлем для характеристики средних приростов рыб разных поколений, однако он не гарантировал безупречность результатов при анализе гистограмм размерного состава рыб из-за больших изменений в темпах роста горбуши в течение жизни, особенно самцов. Поэтому для снижения возможных погрешностей был изучен рост только самок, к тому же с исключением при анализе изменчивости размерного состава рыб длины их тела при сформированной ЦЧП.

Учитывая большое значение, которое придается изучению роста для понимания особенностей формирования численности, принято решение еще раз рассмотреть особенности роста горбуши у поколений с разным уровнем выживаемости в течение морского периода жизни уже на основе полностью переработанной базы данных, что позволило исключить принятые ранее допуски при расчетах темпа роста.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Изучены рыбы из возвратов на юго-восточное побережье о. Сахалин в 2005–2020 гг. Выживаемость поколений в течение морского периода жизни (коэффициент возврата, КВ) определена на основе соотношения ежегодно стандартно определяемой численности покатной молоди в реках и последующего возврата взрослых рыб (Kaev, Irvine, 2016). Образцы чешуи изучены у 2946 рыб (44 пробы). Особенности измерения межсклеритных расстояний и первичной обработки полученных данных представлены ранее (Каев, 2015а; Каев и др., 2022). При попарном сравнении приростов (чешуи, длины тела) за время формирования соответствующих склеритов оценивали достоверность различия (по критерию Фишера, F) между их средними значениями для соответствующих порядковых номеров.

Проверка всех полученных массивов межсклеритных расстояний на нормальность распределений показала, что большие значения $X^{2(k)}$ приурочены к определенным фрагментам склеритограмм (рис. 1). Один из максимумов появился вследствие особенностей измерения расстояния от последнего сформированного склерита до края чешуи. Если оно не превышало трети предыдущего межсклеритного расстояния, то присоединялось к нему, если больше, то считалось новым склеритом. Другой максимум находился в районе ПГЗ и был связан со смещением этой зоны суженных склеритов в ту или иную сторону на чешуе разных рыб. В этой связи был осуществлен переход на нормирование всех межсклеритных расстояний по измеряемому радиусу к 36 склеритам, то есть к их среднему числу на чешуе рыб разных поколений.

При сопоставлении склеритограмм чешуи у рыб разного пола выяснилось их почти полное сходство

Рис. 1. Средняя для всех изученных поколений горбуши склеритограмма чешуи (1) и средние значения критерия $X^{2(k)}$ (2) при анализе распределений межсклеритных расстояний (по: Каев и др., 2022)
Fig. 1. Average scleritogram (1) of all studied pink salmon generations and average values of $X^{2(k)}$ criterion (2) taken during the analysis of intercirculi distances distribution (from: Каев и др., 2022)

(рис. 2). Из 560 значений критерия Фишера, полученных при оценке разности значений межсклеритных расстояний с одинаковым порядковым номером при сопоставлении друг с другом склеритограмм самцов и самок во всех поколениях, только 40 превысили первый (*F* от 3,90 до 6,71), 4 — второй (от 7,1 до 8,8), и 2 — третий порог статистической значимости (11,83 и 11,92). Причем наибольшие его значения характеризовали разницу между межсклеритными расстояниями, формируемыми незадолго до подхода рыб к району своего нереста. Такая особенность склеритограмм позволяет провести сравнение роста разных поколений горбуши независимо от ее пола, так как при анализе становления численности рыб этого вида в морских водах внимание обращается в основном на условия обитания в первый год жизни, включая зимовку.

Различия по величине межсклеритных расстояний у рыб из разных проб, собранных в течение сезона, в среднем были существенно меньше, чем у рыб из проб, собранных в разные годы (табл. 1). Принципиальное различие между этими вариантами состоит не только в огромной разнице значений *F* (1,95 против 29,89, то есть в 15 раз), но и в соотношении количества полученных значений *F*, соответствующих рангам *p* менее 0,05, 0,01 и 0,001. Если при сопоставлении склеритограмм рыб из разных проб одного сезона число значений, соответствующих этим рангам, уменьшается (9,2, 4,6 и 1,9% от суммарного количества определений), то при сопоставлении склеритограмм рыб разных поколений, напротив, увеличивается (8,6, 9,2 и 49,5%). Такая особенность позволяет изучать различия в росте рыб разных поколений на основе суммарных склеритограмм из разных проб, собранных в течение сезона.

Расчет абсолютных приростов проведен традиционно по формуле, отражающей пропорции между измеренными расстояниями на чешуе и соответствующими значениями длины тела с введением очевидной поправки, учитывающей длину тела мальков при закладке чешуи (Ли, 1926). Такая длина принята нами равной 35 мм (Иванков, 1968). Так как радиус ЦЧП не измеряли, он рассчитан, исходя из суммы межсклеритных расстояний между 1 и 3 склеритами, умноженной на 1,135. Данный коэффициент установлен методом подбора, добиваясь соответствия расчетной и ранее наблюденной длины горбуши при 1 склерите на чешуе (Каев, 2003). Такой подход позволил отражать при расчете радиуса ЦЧП реально сложившиеся условия роста мальков.

Статистическая обработка материалов проведена в программах Microsoft Office Excel и Statistica, а также с использованием соответствующих методических рекомендаций (Плохинский, 1970).

Таблица 1. Результаты перекрестного сопоставления межсклеритных расстояний с одинаковым порядковым номером из разных выборок (каждая с каждой) в вариантах между пробами, собранными в течение сезона (по поколениям), и между пробами, объединенными по годам сбора (между поколениями)
Table 1. The results of cross-comparison of intercirculi distances with the same serial number from different samples (each with each other) in the variants between samples collected during the season (by generations) and between samples combined by years of collection (between generations)

Варианты сопоставления	Среднее значение *F*	Количество определений критерия *F*			
		Всего	В том числе по градациям		
			$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,001$
По поколениям	1,95	1645	151	75	32
Между поколениями	29,89	4210	360	387	2082

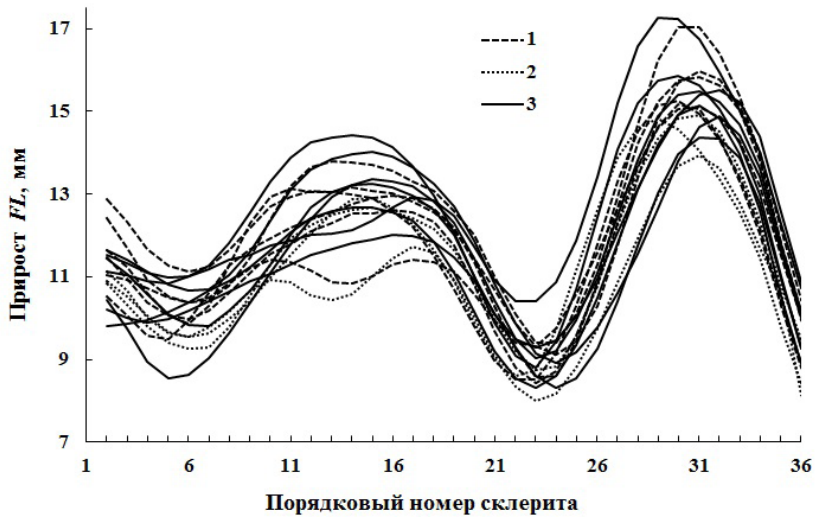

Рис. 2. Средние для всех изученных поколений горбуши склеритограммы чешуи рыб разного пола (1 — самцы, 2 — самки) и значения критерия Фишера (3) при сопоставлении межсклеритных расстояний (по: Каев и др., 2022)
Fig. 2. Average scleritograms of different-sex pink salmons (1 – males, 2 – females) for all studied generations and Fisher criterion (3) values taken by intercirculi distances comparison (from: Каев и др., 2022)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поколения горбуши ранжированы на группы с низкими, средними и высокими значениями КВ (табл. 2). Поколения разных генеративных линий в этих группах мало различались по значениям выживаемости, что позволило рассматривать их совместно.

Прежде всего рассмотрели приросты длины за время формирования первых склеритов, характеризующих рост в течение прибрежного морского периода жизни, который по ряду признаков является определяющим в становлении численности возврата горбуши (Parker, 1968; Wertheimer et al., 2010; Kaev, Irvine, 2016). Поколение с самым быстрым ростом молоди (возврат в 2013 г.) относилось к группе поколений с высокой выживаемостью, а поколение с самым медленным ростом (возврат в 2020 г.) — к группе поколений с низкой выживаемостью (рис. 3). При этом выживаемость первого поколения не была рекордно высокой, а выживаемость второго — рекордно низкой.

Выживаемость изученных поколений положительно коррелировала с суммарным приростом длины молоди за время формирования первых четырех склеритов ($r = 0{,}39$; $p > 0{,}05$), что соответствует точке зрения о более высокой выживаемости, присущей в среднем крупной и быстрорастущей молоди этого вида (Cross et al., 2008). Однако фрагменты кривых, характеризующих приросты молоди в прибрежных морских водах, у поколений с высокой выживаемостью хотя в целом и показывают более высокий рост, тем не менее часть их расположена вперемешку с соответствующими фрагментами поколений с низкой выживаемостью. То есть скорость роста молоди сама по себе не всегда позволяет однозначно трактовать ее как фактор, обеспечивающий разную выживаемость изученных поколений.

Наряду со скоростью линейного роста, важнейшими характеристиками состояния популяции рыб являются показатели их размерного разнообразия, которое выражается в вариабельности длины (CV) и в асимметричности (As) ее распределений (Поляков, 1975; Дгебуадзе, 2001). Значения этих показателей сопоставлены у рыб при одном (условное начало роста в прибрежье), 7 (после его завершения), 16 (завершение периода быстрого роста сеголеток в Охотском море) и 25 (завершение зимовки) склеритах (рис. 4). Обнаружено увеличение значений вариабельности размерного состава рыб в направлении от поколений с высокой к поколениям с низкой выживаемостью. По асимметричности распределений длины тела не наблюдалось столь хорошо согласованных изменений ее значений между группами с разной

Таблица 2. Выживаемость горбуши в течение морского периода жизни с ранжированием поколений по низкому, среднему и высокому уровню ее значений
Table 2. Survival rate of pink salmon during the marine phase with the year-classes divided into groups with low, medium, and high return rate values

Градация по выживаемости	Год возврата поколения	Коэффициент возврата, %	
		M	*Lim*
Низкая	2015, 2017, 2019	1,39	0,87–1,81
	2008, 2016, 2018, 2020	2,64	1,72–4,20
Средняя	2005, 2007	7,09	6,53–7,65
	2012	8,77	8,77–8,77
Высокая	2009, 2011, 2013	11,94	10,32–15,09
	2006, 2010, 2014	15,00	12,99–18,02

Рис. 3. Приросты длины за время формирования соответствующих склеритов у горбуши поколений с высокой (1), средней (2) и низкой (3) выживаемостью в течение морского периода жизни (по: Каев и др., в печати)
Fig. 3. Body length increase during the formation of respective circuli on scales of pink salmon from the year-classes with high (1), medium (2), and low (3) survival rates during the marine phase (from: Каев и др., in publishing)

выживаемостью. Однако обращает на себя внимание снижение положительной асимметричности размерного состава в течение раннего морского периода жизни, наиболее сильно выраженного в группе поколений с низким уровнем выживаемости. Такое изменение асимметричности должно отражать смещение модальных групп в распределениях с мелких на средние размерные классы, что и подтвердилось при сопоставлении гистограмм длин молоди при 1 и 7 склеритах (рис. 5).

Сравнение восстановленных размерных рядов в начале и в конце нагула в прибрежье фактически демонстрирует принцип размерно-селективной смертности, причем более выраженный в группе с низкой выживаемостью, что следует из значений критерия Колмогорова–Смирнова (0,20 против 0,09 в группе с высокой выживаемостью). Смещение модальных групп к концу нагула молоди в прибрежье на более крупные размеры выглядит не столь контрастно, как представлено во многих работах, посвященных выявлению размерно-селективной смертности на основе сопоставления размерных рядов, наблюденных у молоди и восстановленных по промерам чешуи. А в нашем случае, еще раз обращаем на это внимание, проведено сопоставление только по восстановленным значениям выживших рыб.

На рисунке 6 представлены абсолютные приросты и их изменчивость на момент формирования каждого из склеритов на чешуе. По величине абсолютных приростов практически отсутствуют различия между рыбами поколений с низкой и высокой выживаемостью. По вариабельности ситуация вполне ожидаемая, ее постепенное снижение связано, как считается, с более высокой смертностью мелких особей в ювенильной популяции (Beacham et al., 2018). Однако в данном случае это вновь касается изменений в восстановленном размерном составе выживших рыб, то есть этот процесс является отражением не только избирательного воздействия хищников. В отличие от результатов предыдущего анализа в этом направлении (Каев, 2021), в данном случае длительному процессу снижения вариабельности размеров предшествовало кратковременное интенсивное ее увеличение, что действительно наблюдается у молоди после ската из рек как следствие растянутости покатной миграции и перехода молоди на активное внешнее питание (Каев, Ромасенко, 2002).

По изменениям асимметричности размерного состава размерно-селективная смертность идентифицируется только для периода обитания молоди в морском прибрежье. Далее она не просматривается как при нагуле в открытых водах Охотского моря, так и

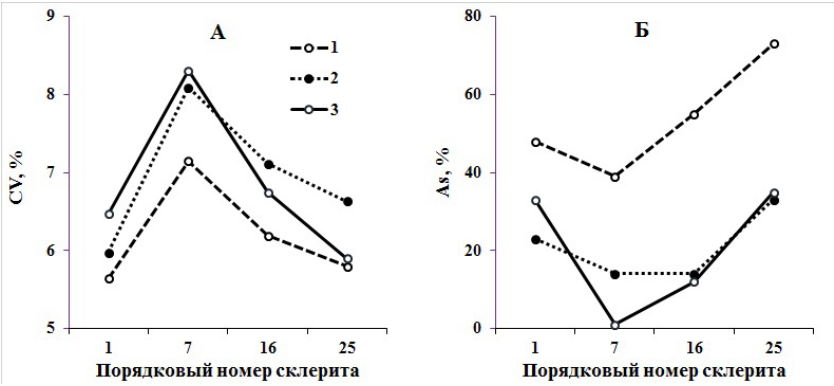

Рис. 4. Вариабельность (А) и асимметричность (Б) размерного состава рыб при 1, 7, 16 и 25 склеритах на чешуе у поколений горбуши с высокой (1), средней (2) и низкой (3) выживаемостью в течение морского периода жизни
Fig. 4. Variation coefficient (CV) and asymmetry (As) of size structure of pink salmon with 1, 7, 16 and 25 circuli on scales taken from year-classes with high (1), medium (2) and low (3) survival rate during the marine phase

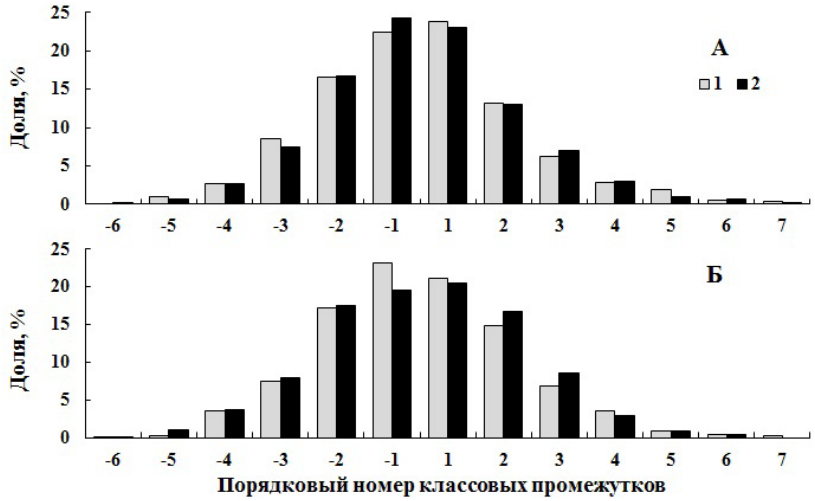

Рис. 5. Размерный состав рыб при одном (1) и семи (2) склеритах на чешуе в среднем для поколений горбуши с высокой (А) и низкой (Б) выживаемостью в течение морского периода жизни (по: Каев и др., в печати)
Fig. 5. Size structure of pink salmon with two (1) and seven (2) circuli on scales, averaged for the year-classes with high (A) and medium (Б) survival rates during the marine phase (from: Каев и др., in publishing)

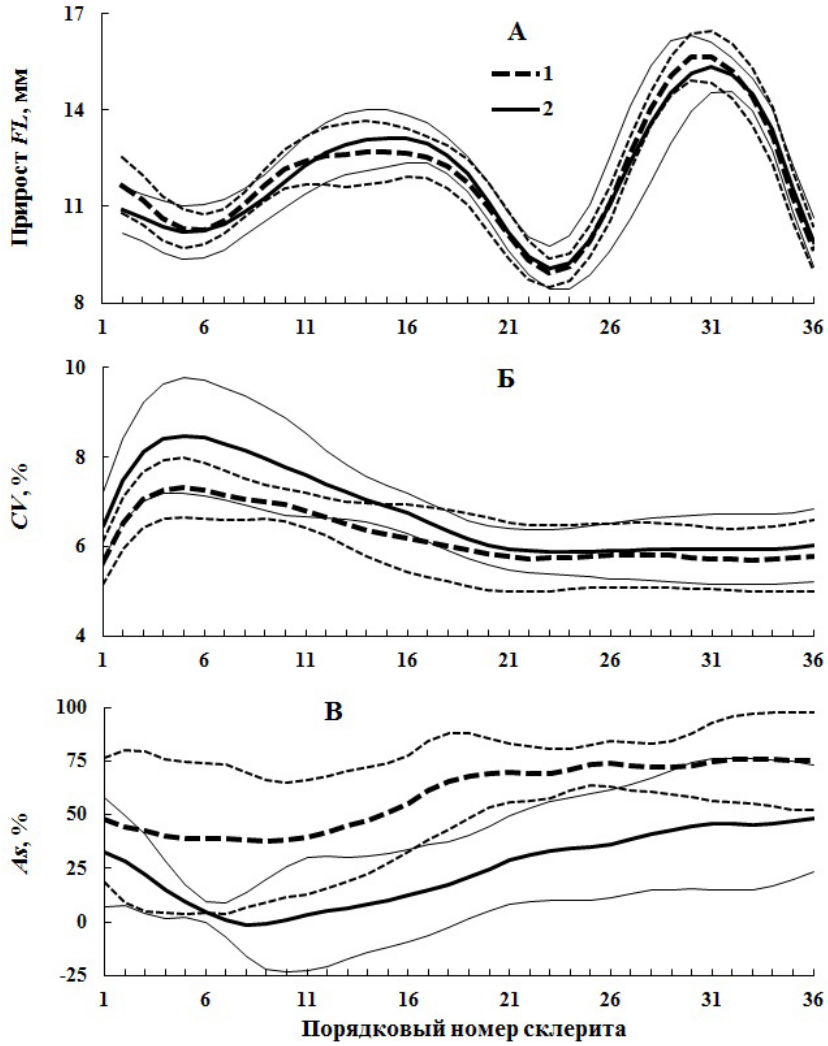

Рис. 6. Приросты длины рыб (А) за время формирования соответствующих склеритов и изменения вариабельности (Б) и асимметричности (В) распределения длин в среднем для поколений горбуши с высокой (1) и низкой (2) выживаемостью в течение морского периода жизни (жирные линии — *M*, тонкие линии — *M* ± *SD*) (по: Каев и др., в печати)
Fig. 6. Body length increase (*FL*) during the formation of respective circuli, variation coefficient (CV) changes and asymmetry (As) of lengths distribution, on average, for pink salmon year-classes with high (1) and low (2) survival rate during the marine phase (bold lines – *M*, thin lines – *M* ± *SD*) (from: Каев и др., in publishing)

при зимовке. В этой связи обратимся еще раз к рисунку 3. У двух поколений горбуши наблюдался аномально слабый рост в открытых водах Охотского моря. В соответствии с гипотезой критического размера рыбы этих поколений должны были плохо пережить зимовку, однако одно из них вошло в группу со средней выживаемостью, а другое — в группу с высокой выживаемостью. Появление таких поколений дает веские основания полагать, что величина смертности при зимовке, связанная с размером рыб, не является определяющей в формировании конечной численности поколений горбуши, что вполне согласуется с результатами реальных наблюдений за состоянием дальневосточных стад горбуши в зимний период (Найденко, Темных, 2016; Найденко и др., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты ретроспективного изучения роста горбуши у поколений с разным уровнем выживаемости в морских водах показывают, что его особенности, по которым можно судить о высоком уровне элиминации рыб, проявляются только в течение раннего морского периода жизни. Не подтверждена гипотеза о наличии «критического размера» у ювенильных лососей, недостижение которого к концу первого морского лета или осени существенно снижает шансы на выживание во время зимовки. Кроме того, выявлен феномен, в соответствии с которым изменения в расчисляемых размерных составах выживших рыб (вариабельность и асимметричность распределений) в какой-то мере аналогичны таковым, происходящим изначально во всей генерации в целом, что способствует завышению осуществляемых оценок размерно-селективной смертности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Дгебуадзе Ю.Ю. 2001. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука. 276 с.

Дементьева Т.Ф. 1976. Биологическое обоснование промысловых прогнозов. М.: Пищ. пром-сть. 240 с.

Иванков В.Н. 1968. К методике определения возраста горбуши // Изв. ТИНРО. Т. 65. С. 75–79.

Каев А.М. 2003. Особенности воспроизводства кеты в связи с ее размерно-возрастной структурой. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 288 с.

Каев А.М. 2015а. Ретроспективная оценка роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по чешуе: региональная изменчивость // Вопр. ихтиологии. Т. 55, № 3. С. 298–312. https://doi.org/10.7868/S0042875215030078

Каев А.М. 2015б. Ретроспективная оценка роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* по чешуе: межгодовая изменчивость // Вопр. ихтиологии. Т. 55, № 5. С. 570–585. https://doi.org/10.7868/S0042875215050094

Каев А.М. 2021. Особенности роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в поколениях с разным уровнем выживаемости в морском периоде жизни // Изв. ТИНРО. Т. 201. Вып. 1. С. 62–75. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2021-201-62-75

Каев А.М., Ромасенко Л.В. 2002. Покатная миграция и формирование изменчивости по длине тела у молоди горбуши и кеты // Изв. ТИНРО. Т. 130. С. 819–828.

Каев А.М., Ромасенко Л.В., Каев Д.А. 2022. Сезонная и годовая изменчивость склеритограмм чешуи горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae) // Биология моря. Т. 48, № 2. С. 101–110. https://doi.org/10.31857/S0134347522020061

Каев А.М., Ромасенко Л.В., Каев Д.А. 2023. Изучение темпа линейного роста горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) по чешуе // Вопр. ихтиологии. (В печати.)

Ли Р. 1926. Определение возраста рыб // Сб. статей по методике определения возраста и роста рыб. Красноярск: Гос. типолит. им. Вейнбаума. С. 17–32.

Найденко С.В., Темных О.С. 2016. Выживаемость тихоокеанских лососей в Северной Пацифике в зимне-весенний период // Изв. ТИНРО. Т. 185. С. 67–94. https://doi.org/10.26428/1606-9919-2016-185-67-94

Найденко С.В., Хен Г.В., Фигуркин А.Л., Кузнецова Н.А., Старовойтов А.Н., Сомов А.А., Шебанова М.А. 2021. Условия нагула молоди горбуши в осенне-зимний период на примере сезона 2019–2020 гг. // Вопр. рыболовства. Т. 22, № 4. С. 96–115. https://doi.org/10.36038/0234-2774-2021-22-4-96-115

Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. М.: МГУ. 367 с.

Поляков Г.Д. 1975. Экологические закономерности популяционной изменчивости рыб. М.: Наука. 159 с.

Темных О.С. 1998. Региональная изменчивость склеритограмм чешуи азиатской горбуши // Изв. ТИНРО. Т. 124. С. 375–390.

Beacham T.D., Araujo H. A., Tucker S., Trudel M. 2018. Validity of inferring size-selective mortality in Pacific salmon from scale circulus spacing // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Technical Report. № 11. P. 56–58. https://doi.org/10.23849/npafctr11/56.58

Beacham T.D., Neville C.M., Tucker S., Trudel M. 2017. Is there evidence for biologically significant size-selective mortality of coho salmon during the first winter of marine residence? Trans. Amer. Fish. Soc. Vol. 146, № 3. P. 395–407. https://doi.org/10.1080/00028487.2017.1285349

Beamish R.J., Mahnken C. 2001. A critical size and period hypothesis to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change // Prog. Oceanogr. Vol. 49. Iss. 1–4. P. 423–437. https://doi.org/10.1016/S0079-6611(01)00034-9

Cross A.D., Beauchamp D.A., Myers K.W., Moss J.H. 2008. Early marine growth of pink salmon in Prince William Sound and the coastal Gulf of Alaska during years of low and high survival // Trans. Amer. Fish. Soc. Vol. 137. Iss. 3. P. 927–939. https://doi.org/10.1577/T07-015.1

Farley E.V. jr., Yasumiishi E., Moss J., Murphy J., Howard K. 2018. Critical Size and Period for Pacific Salmon: A Review and Response to Beacham et al. // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Technical Report. № 11. P. 59–63. https://doi.org/10.23849/npafctr11/59.63

Howard K.G., Murphy J.M., Wilson L.I., Moss J.H., Farley E.V. jr. 2016. Size-selective mortality of Chinook salmon in relation to body energy after the first summer in nearshore marine habitats // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. № 6. P. 1–11. https://doi.org/10.23849/npafcb6/1.11

Kaev A.M., Irvine J.R. 2016. Population dynamics of pink salmon in the Sakhalin-Kuril Region, Russia // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. № 6. P. 297–305. https://doi.org/10.23849/npafcb6/297.305

Parker R.R. 1968. Marine mortality schedules of pink salmon of the Bella Coola River, central British Columbia // J. Fish. Res. Board Can. Vol. 25, № 4. P. 757–794. https://doi.org/10.1139/f68-068

Wertheimer A.C., Orsi J.A., Fergusson E.A., Sturdevant M.V. 2010. Calibration of Juvenile Salmon Catches using Paired Comparisons between Two Research Vessels Fishing Nordic 264 Surface Trawls in Southeast Alaska, July 2009 / N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1277. 19 p.

Yasumiishi E.M., Farley E.V., Ruggerone G.T., Agler B.A., Wilson L.I. 2016. Trends and factors influencing the length, compensatory growth, and size-selective mortality of juvenile Bristol Bay, Alaska, Sockeye salmon at sea // Marine and coastal fisheries. Vol. 8. Iss. 1. P. 315–333. https://doi.org/10.1080/19425120.2016.1167793

УДК 639.2.081.7:639.227.2

ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ САРДИНЫ (*SARDINOPS MELANOSTICTUS*) И ЯПОНСКОЙ СКУМБРИИ (*SCOMBER JAPONICUS*) В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА В 2015–2021 ГГ.

Михаил Юрьевич Кузнецов, Владимир Ильич Поляничко, Евгений Владимирович Сыроваткин

Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Владивосток, Россия, mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru, vladimir.polyanichko@tinro-center.ru, evgeniy.syrovatkin@tinro-center.ru

Аннотация. Представлены гидроакустические оценки горизонтального и суточного вертикального распределения сардины и скумбрии во время их нагульных миграций в СЗТО. Выявлены особенности распространения и характеристики скоплений и косяков в различное время суток. Показаны тенденции распространения и обилия этих видов рыб в российской экономической зоне в летне-осенний период.

Ключевые слова: гидроакустический мониторинг, дальневосточная сардина, японская скумбрия, научный эхолот, эхограмма, распределение, запас, плотность скоплений, вертикальное распределение, миграции

HYDROACOUSTIC MONITORING OF JAPANESE PILCHARD (*SARDINOPS MELANOSTICTUS*) AND CHUB MACKEREL (*SCOMBER JAPONICUS*) IN THE PACIFIC NORTHWEST IN 2015–2021

Mikhail Yu. Kuznetsov, Vladimir I. Polyanichko, Eugeniy V. Syrovatkin

Pacific Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok, Russia, mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru, vladimir.polyanichko@tinro-center.ru, evgeniy.syrovatkin@tinro-center.ru

Abstract. Hydroacoustic estimates of the horizontal and daily vertical distribution of japanese pilchard and chub mackerel during their feeding migrations in the Pacific Northwest are presented. Specifics of distribution and characteristics of aggregations and shoals at different times of the day are revealed. Trends in the distribution and stock abundance of these fish species in the Russian Exclusive Economic Zone in the summer–autumn period are demonstrated.

Keywords: hydroacoustic monitoring, japanese pilchard, chub mackerel, scientific echosounder, echogram, distribution, stock, density of aggregations, vertical distribution, migrations

Дистанционный гидроакустический метод мониторинга биоресурсов в последние годы получил широкое распространение в рыбохозяйственных исследованиях. Преимуществом гидроакустических наблюдений, по сравнению с точечным взятием проб на траловых станциях, является непрерывность регистрации скоплений, а также, благодаря высокой скорости обзора среды, возможность обследовать большие площади за относительно короткий временной промежуток. По сути, траловая съемка представляет дискретный метод измерений, тогда как акустическая — непрерывный. Научные эхолоты калибруются, что позволяет сопоставлять данные, полученные аналогичными приборами на других судах. Еще одним достоинством метода является возможность оценки с высоким разрешением не только горизонтального, но и вертикального распределения гидробионтов.

В 2014 г., в ходе комплексной съемки в южной части СЗТО судами ТИНРО, оснащенными научной гидроакустической аппаратурой, помимо лососей и мезопелагических рыб были обнаружены значительные скопления субтропических видов — дальневосточной сардины *Sardinops melanostictus* и японской скумбрии *Scomber japonicus*. Исследования в 2015–2018 гг. показали дальнейший

рост численности сардины и скумбрии в СЗТО, что инициировало возобновление их массового промысла в этом районе российскими рыбаками в летне-осенний период. В связи с этим регулярный мониторинг масштабов распространения нагульных скоплений сардины и скумбрии в российской экономической зоне становится особенно актуальным, а использование для этих целей прецизионной гидроакустической аппаратуры (с учетом высокой скорости и непрерывности выполняемых с ее помощью измерений) — наиболее перспективным.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В качестве основного гидроакустического средства измерений использовался научный эхолот EK60 Simrad с размещенными под килем судна вертикально направленными антеннами с расщепленным лучом частотой 38 и 120 кГц. Навигационное сопровождение эхолота осуществлялось с использованием системы спутникового позиционирования GPS. Перед выходом судна в рейс выполнялась калибровка гидроакустического комплекса по технологии стандартной сферы.

Основой технологии гидроакустической оценки запасов является измерение силы обратного поверхностного рассеяния от скопления гидробионтов в пределах выбранного слоя и расчет их численности по известной отражательной способности (силе цели) рыб, поддерживаемый биологическими измерениями (Кузнецов, 2013). Регистрация и накопление гидроакустических данных производились круглосуточно с использованием программы ER60 в формате RAW Simrad. Галсовые маршруты акустических измерений во время съемок формировались соответственно схемам траловых станций, по результатам которых производилась идентификация акустических изображений скоплений.

Для визуализации и постпроцессорной обработки накопленных файлов эхограмм использовалось совмещенное с базой данных собственное алгоритмическое и программное обеспечение SALTSE (Кузнецов и др., 2021а). SALTSE рассчитывает и сохраняет в форматах, пригодных для дальнейшей обработки (программами Excel, Surfer и др.), значения коэффициента обратного поверхностного рассеяния s_A, численности и биомассы рыб по элементам сетки с задаваемым размером отдельного элемента сетки 0,01–1 миля по дистанции и 1 м по глубине в пределах выделенных слоев.

Обработка эхограмм выполнялась в слое 8–100 м от поверхности. Верхняя граница слоя обусловлена глубиной установки антенн (5 м) и размером «ближней зоны» антенны (порядка 3 м). При интегрировании устанавливался порог по уровню объемного рассеяния — 70 дБ, порог по TS — 65 дБ. Для оценки численности использовалась частота 38 кГц и следующие зависимости силы цели (TS) от длины рыб (L) на этой частоте:

– сардина (*Sardinops melanostictus*) – TS = 20log(L)–71,6 (Porteiro et al., 1996);

– скумбрия (*Scomber japonicus*) – TS = 20log(L)–72,8 (Кузнецов и др., 2021б).

Для расчета средневзвешенной глубины обитания рыб на каждой i-й миле пути создавались два ряда данных: f_i (x, y, z_j, t) — плотность рыб (усредненная по 5-метровым интервалам глубины численность на милю^2) и H_i (z_j) — глубина, где x, y — координаты, z_j — интервал глубины, j = 1,…, n_i, n_i — число интервалов глубины, t — время. Средневзвешенная по численности глубина местоположения рыб на i-й миле пути определялась как:

$$H_{i\,\mathrm{AVG}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i}\left(f_j \times H_j\right)}{\sum_{j=1}^{n_i} f_j}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2015–2017 гг., а также в 2020–2021 гг. комплексные съемки в верхней эпипелагиали прикурильских вод СЗТО выполнялись дважды: стандартные, ориентированные на учет преднерестовых лососей в июне, и специализированные, направленные на выявление масштабов распространения нагульных скоплений японской скумбрии и сардины иваси в тихоокеанских водах Курильских островов и зоне субарктического фронта в августе–сентябре. Задачей последних являлась также оценка особенностей горизонтального и вертикального распределения этих видов рыб и определение возможности их промыслового освоения траловым методом.

Горизонтальное распределение. Характерным для этих сезонно мигрирующих в прикурильские воды видов рыб является их начальное накопление (в июне–июле) в юго-западной, а с 2017 г. — еще и в южной части района исследований и дальнейшее распространение (в августе–сентябре), по мере прогрева приповерхностных вод, на север и северо-восток, в океанские воды Южных и Средних Курильских островов (рис. 1, 2). При этом, судя по картам горизонтального распределения плотности сардины и скумбрии в июне–июле, миграция этих видов в российскую экономическую зону осуществляется по двум траекториям: с юго-запада в северо-восточном направлении и с юго-востока в западном и северо-западном направлении.

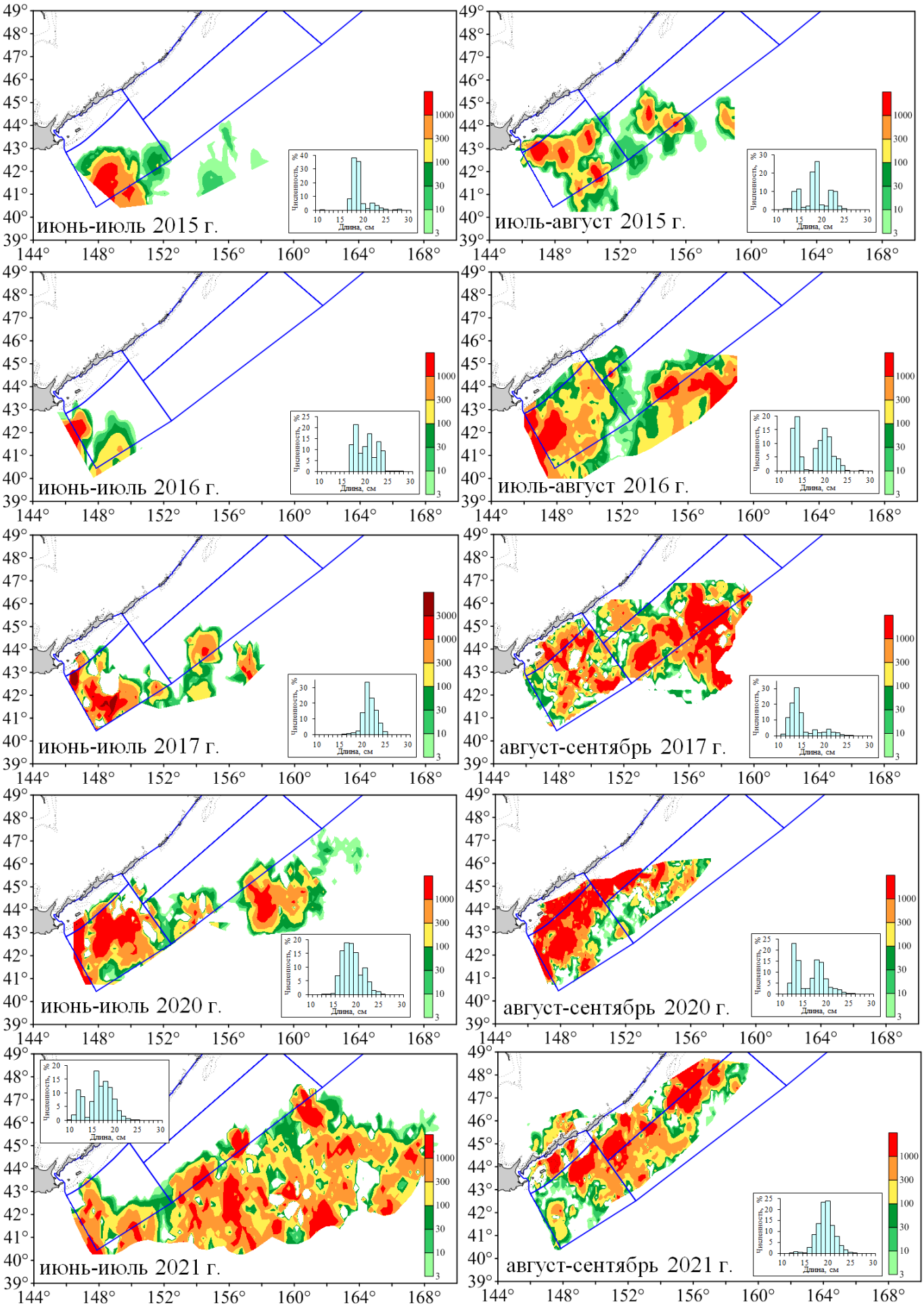

Рис. 1. Пространственное распределение дальневосточной сардины (тыс. экз./миля^2) в СЗТО в 2015–2021 гг.
Fig. 1. Spatial distribution of japanese pilchard (thous. ind./mile^2) in the Pacific Northwest in 2015–2021

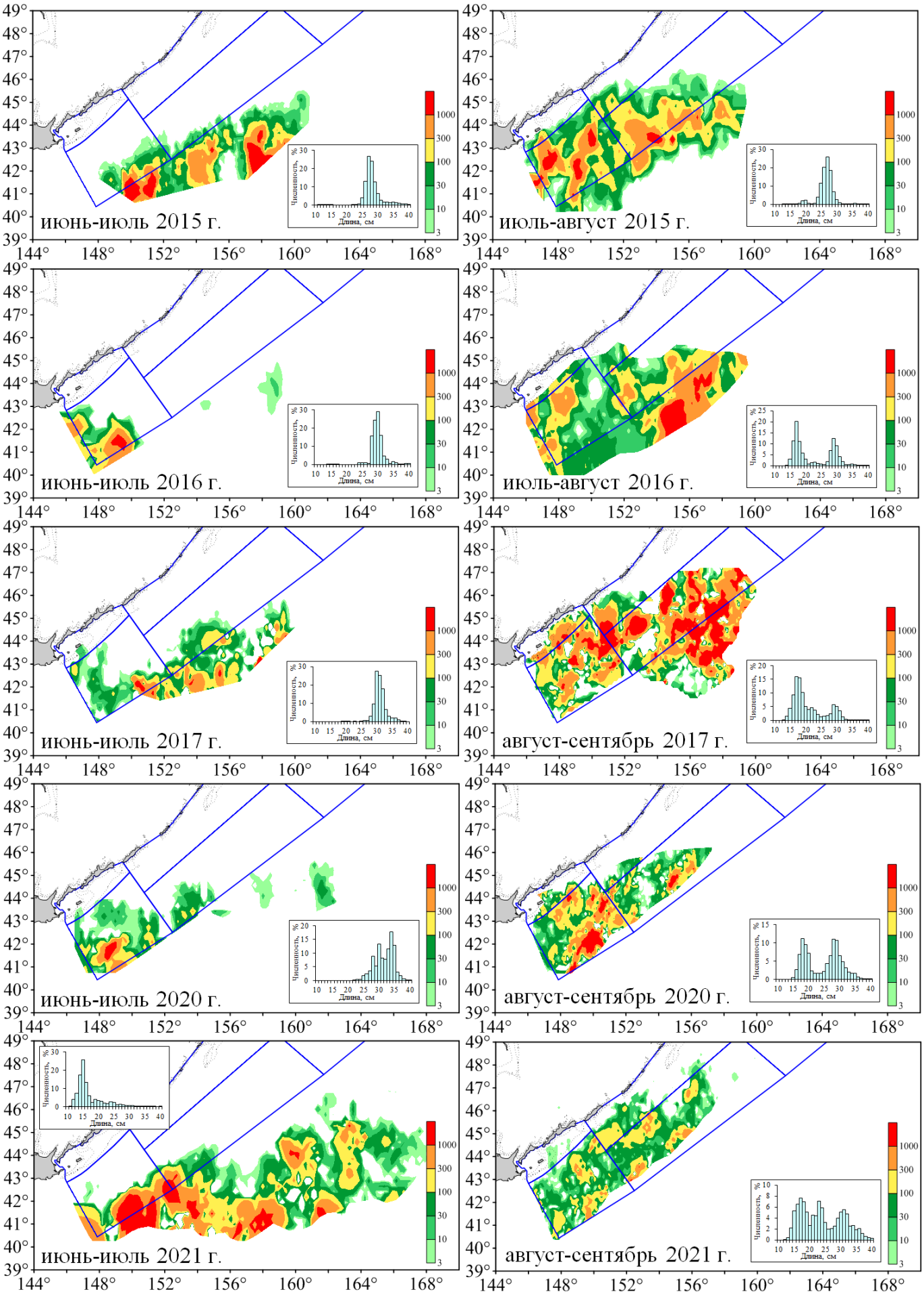

Рис. 2. Пространственное распределение японской скумбрии (тыс. экз./миля^2) в СЗТО в 2015–2021 гг.
Fig. 2. Spetial distribution of chub mackerel (thous. ind./mile^2) in the Pacific Northwest in 2015–2021

Особенностью циркуляции прикурильских вод в летне-осенний период является наличие большого числа вихревых образований и фронтальных зон, на границе которых обычно высока плотность кормового планктона и происходит усиление концентрации рыб (Иванов, Суханов, 2002). Вследствие этого распределение рыб на обследованной акватории в течение лета имеет мозаичный характер с ядрами высокой плотности скоплений в градиентных зонах. Протяженность ядер максимальной концентрации косяков колеблется от 1–2 до 5–10 миль.

Характерным является образование на обследованной акватории двух пространственно изолированных разноразмерных агрегаций в юго-восточной и юго-западной ее части, что, по-видимому, также связано с формированием двух миграционных потоков этих рыб в российские воды СЗТО в нагульный период из различных районов нереста. Скопления в восточном секторе образованы в основном мелкоразмерными особями. В западной части находятся скопления более крупных рыб.

В 2021 г. эти тенденции сохранились. В июне–июле скопления сардины с ядрами плотности свыше 3 млн экз./милю^2 были распределены за пределами ИЭЗ России в смешанных водах Субарктического фронта между 148° и 168° в. д. В 13-м биостатистическом районе было учтено 92% численности особей этого вида. Скумбрия располагалась в том же районе. Наиболее плотные ее скопления (более 3 млн экз./миля^2) были зарегистрированы в южной части 10-го биостатистического района и прилегающей к нему акватории 13-го района.

В августе 2021 г. скопления сардины и скумбрии продвинулись на север и северо-запад. В отличие от предыдущих лет, сардина была распределена значительно севернее (выше 48° с. ш.), занимая океанские и прибрежные воды средних и северных островов Курильской гряды (рис. 1). Скопления сардины встречались практически на всей обследованной акватории 7-го и 8-го районов, а также в 9-м статрайоне и даже с охотоморской стороны Южных Курил, создавая ядра высокой плотности (более 1 млн экз./милю^2) в богатых кормом циклонических круговоротах.

Японская скумбрия в августе–сентябре 2021 г. была менее распространена на север и имела плотность значительно слабее, чем сардина, располагаясь относительно равномерно в океанских и прибрежных водах Южных и Средних Курильских островов (рис. 2). Наиболее плотные ее концентрации (от 0,3 до 0,5 млн экз./миля^2) были зарегистрированы в 8-м и 10-м районах и в южной части 7-го района.

Одной из особенностей распределения рыб в верхней эпипелагиали прикурильских вод СЗТО в летний период является пространственное разделение лососей (в частности, самого массового их вида, горбуши) и скоплений сардины. Граница района, за которую горбуша в период съемки не распространялась, проходила по акватории с температурами воды ниже 8–9 °С. В свою очередь, скопления сардины были расположены к югу от северной границы Субарктического фронта в водах с температурами выше 6–7 °С и избегали более холодных вод. Зоной смешения этих видов рыб является пространство между изотермами 6 и 8 °С, что хорошо видно на рис. 3.

Оба объекта обитают преимущественно в приповерхностном слое около 30 м. При этом, по результатам трофологических исследований, сардина предпочитала в питании копепод, эвфаузиид и амфипод. В рацион горбуши входили те же объекты и птероподы. Т. е. состав пищи горбуши и сардины был примерно одинаков, что при совместном обитании на одной акватории должно вызывать конкуренцию за

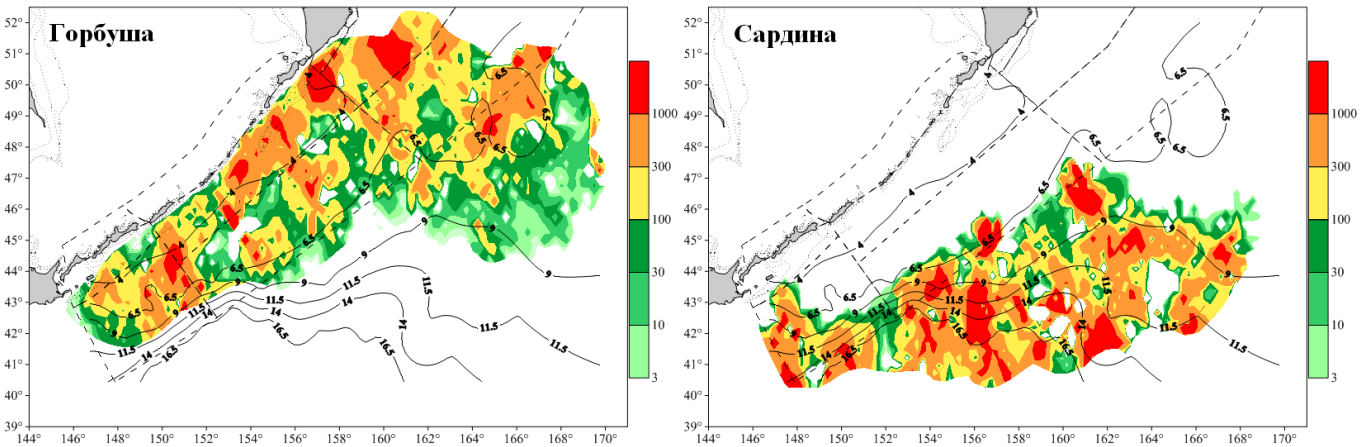

Рис. 3. Пространственное распределение горбуши (экз./миля^2) и сардины (тыс. экз./миля^2) в СЗТО с температурами приповерхностного слоя (июнь–июль 2021 г.)
Fig. 3. Spatial distribution of pink salmon (ind./mile^2) and japanese pilchard (thous. ind./mile^2) in the Pacific Northwest and the water surface temperatures in June–July 2021

пищу. Однако раздельное территориально положение рыб, причиной которого является термическая структура вод в СЗТО в период съемки, позволило этого избежать. Такая пространственная дифференциация различных видов рыб является ярким примером успешного использования кормовых ресурсов на ограниченной акватории при минимальной конкуренции за пищу. Позже лососи продолжили свои анадромные миграции, а на освободившееся пространство, по мере прогрева приповерхностных вод (в августе–сентябре), распространились нагульные скопления сардины и скумбрии (рис. 1, 2).

Оценки биомассы японской скумбрии в СЗТО существенно варьируют от 0,4 млн т до 3,8 млн т в разные годы. Максимальные эхоинтеграционные оценки биомассы скумбрии были получены в августе–сентябре 2017 г. Однако в последние годы наметилась тенденция снижения ее обилия (рис. 4).

Оценки дальневосточной сардины растут. С 2017 г. сардина становится доминирующим по численности видом в верхней эпипелагиали СЗТО в летний период. В августе–сентябре 2021 г. оценки биомассы сардины были самыми высокими за весь период наблюдений (4,7 млн т).

Однако, поскольку площади обследованных акваторий варьировали в разные годы, для представления межгодовой динамики обилия правильнее использовать не абсолютные оценки численности и биомассы рыб, а значения их плотности на единицу горизонтальной площади в виде коэффициента обратного рассеяния s_A (акустическая плотность) и площади распространения скоплений. Как видно из рис. 5, плотность скоплений сардины в СЗТО в августе–сентябре из года в год растет и в 2020 г. достигла максимальных значений. В августе 2021 г. плотность сардины (и численность) была меньше, чем в 2020 г. Рост биомассы сардины произошел за счет увеличения площади распространения скоплений и среднего размера рыб в уловах (рис. 1 и 5). То есть площади, занимаемые скоплениями, растут, а плотности падают.

То же происходило со скумбрией. Только если у сардины плотность в 2021 г. по сравнению с 2020 г. уменьшилась на 59%, но при этом на 73% увеличилась площадь распространения скоплений, то у скумбрии площадь скоплений тоже выросла (на 45%), однако плотность снизилась более чем вдвое, продолжив тенденцию снижения ее запаса (рис. 4, 5).

Суточное вертикальное распределение и миграции. Скумбрия и сардина по своему поведению стайные подвижные рыбы. Они способны в течение сумерек рассеиваться и на рассвете быстро собираться в плотные косяки, которые могут развивать большие

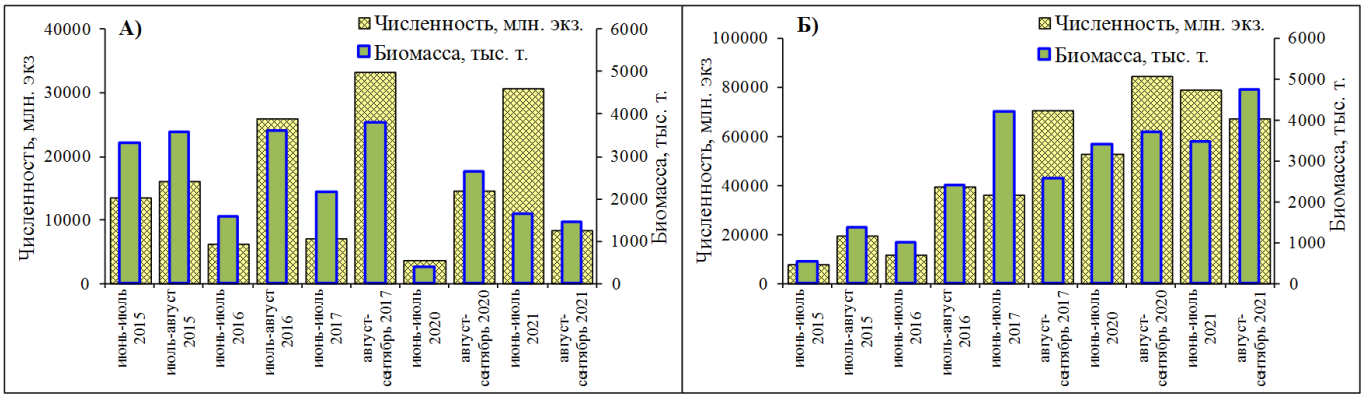

Рис. 4. Численность и биомасса скумбрии (А) и сардины (Б) в СЗТО в 2015–2021 гг. (эхоинтеграционные оценки)
Fig. 4. Abundance and biomass of chub mackerel (А) and japanese pilchard (Б) in the Pacific Northwest in 2015–2021 (echo integration scores)

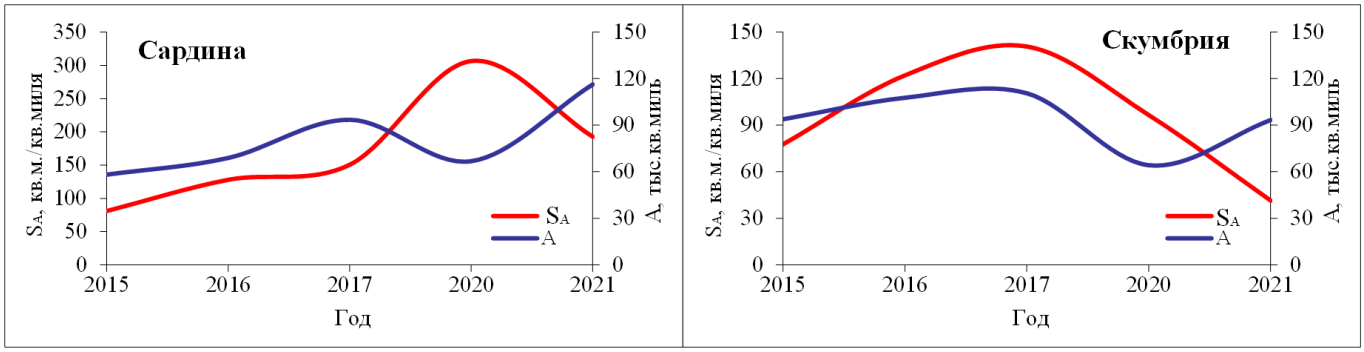

Рис. 5. Межгодовая динамика плотности и площади распространения сардины и скумбрии в верхней эпипелагиали СЗТО: s_A — коэффициент обратного поверхностного рассеяния ($м^2$/миля^2); А — площадь скоплений
Fig. 5. The interannual dynamics of the density and distribution square of chub mackerel and japanese pilchard in the Pacific Northwest upper epipelagial: s_A – surface backscatter coefficient (m^2/mile^2); A – square of aggregations

скорости перемещения. Устойчивость отдельных скоплений обычно не превышает 1–3 суток и тесно связана с изменчивостью распределения кормовых организмов, которая, в свою очередь, находится в зависимости от гидрологических условий. Обладают чувствительными органами слуховой рецепции и активно реагируют на внешние раздражители.

По данным гидроакустических наблюдений за ряд лет, скумбрия и сардина обитают в приповерхностных горизонтах (преимущественно на глубинах до 30 м), не совершают существенных вертикальных миграций в течение суток и в последние годы регистрируются преимущественно в виде смешанных скоплений.

В 2021 г. японская скумбрия в дневное время образовывала мелкие подвижные косяки высокой плотности высотой 3–12 м и горизонтальной протяженностью 10–45 м (рис. 6). Рассчитанная эхоинтеграционным методом биомасса зарегистрированных косяков скумбрии варьировала от 6 до 70 т (в среднем 18 т). Косяки дальневосточной сардины в дневное время тоже плотные, обитали в тех же горизонтах, что и скумбрия, но имели большее вертикальное развитие, 8–24 м, и горизонтальную протяженность 20–100 м (рис. 6). Биомасса дневных косяков сардины варьирует от 8 до 120 т (средняя 32 т).

В темное время суток косяки скумбрии рассеивались до дисперсных слоев в виде сплошных лент (часто в форме «каленвал») или прерывистых скоплений переменной плотности выше или в слое термоклина (рис. 6). Сардина, как правило, сохраняла косячное состояние стай, но при этом структура косяков становилась более рыхлой и увеличивалась их горизонтальная протяженность (до 700 м).

Диапазон вертикальных перемещений сардины и скумбрии, как и других стайных пелагических рыб в СЗТО, ограничен пределами верхнего термически квазиоднородного слоя (ВКС). Свыше 95% численности этих рыб в периоды съемок 2015–2020 гг. зарегистрировано в пределах слоя до 30 м. При этом суточные вертикальные миграции к поверхности в темное время суток отсутствовали. Отмечалась даже некоторая обратная тенденция смещения центра концентрации в более глубокие горизонты ночью, связанная с рассеянием рыб.

Наблюдения за ряд лет показали, что наибольшая суточная изменчивость — в вертикальном распределении скумбрии. Центр концентрации скоплений ночью был на 0,4–5,7 м ниже, чем днем. Смещения центров концентрации сардины в течение суток были выражены слабее: от 0,3 до 2,9 м в разные годы.

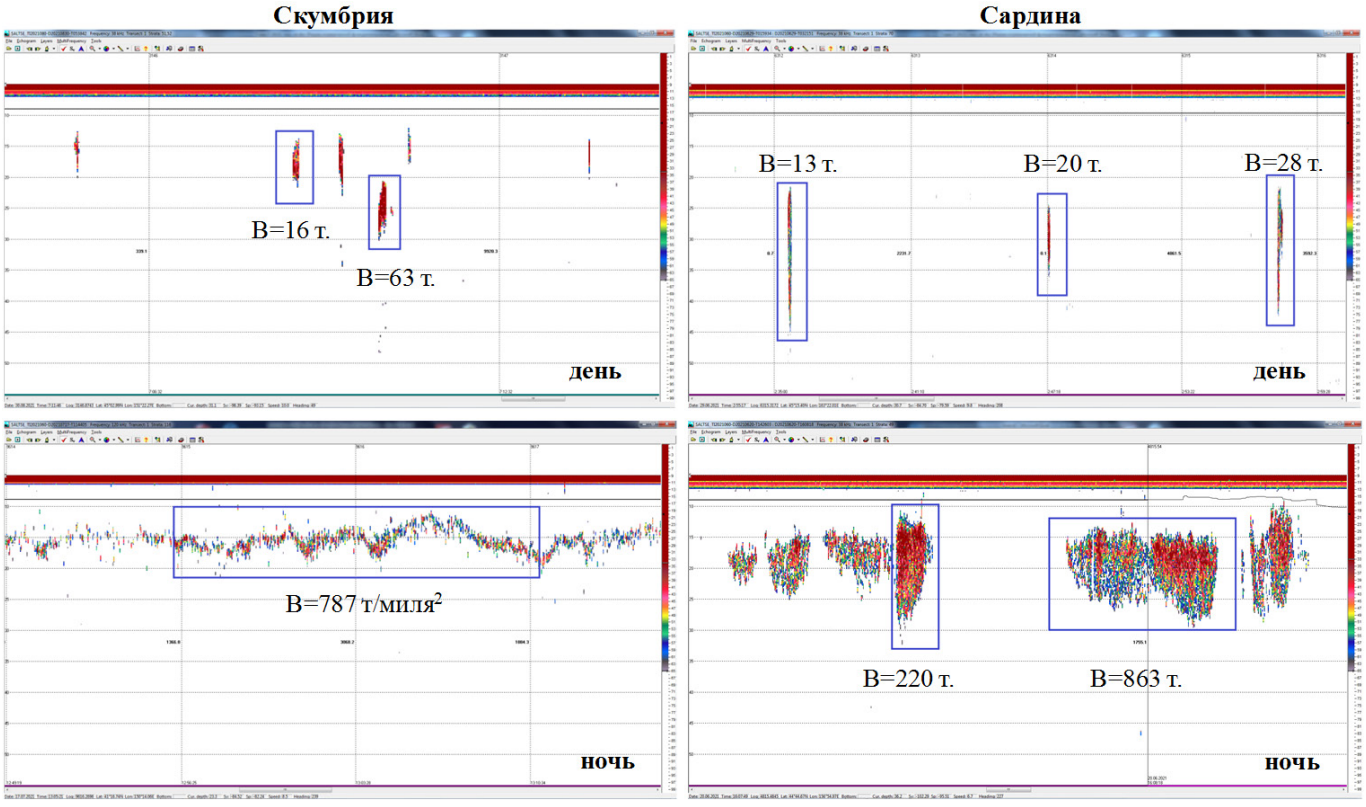

Рис. 6. Фрагменты эхограмм дальневосточной сардины и японской скумбрии в СЗТО в светлое и темное время суток в 2021 г.
Fig. 6. The fragments of the echograms of chub mackerel and japanese pilchard in the Pacific Northwest in the day and night time in 2021

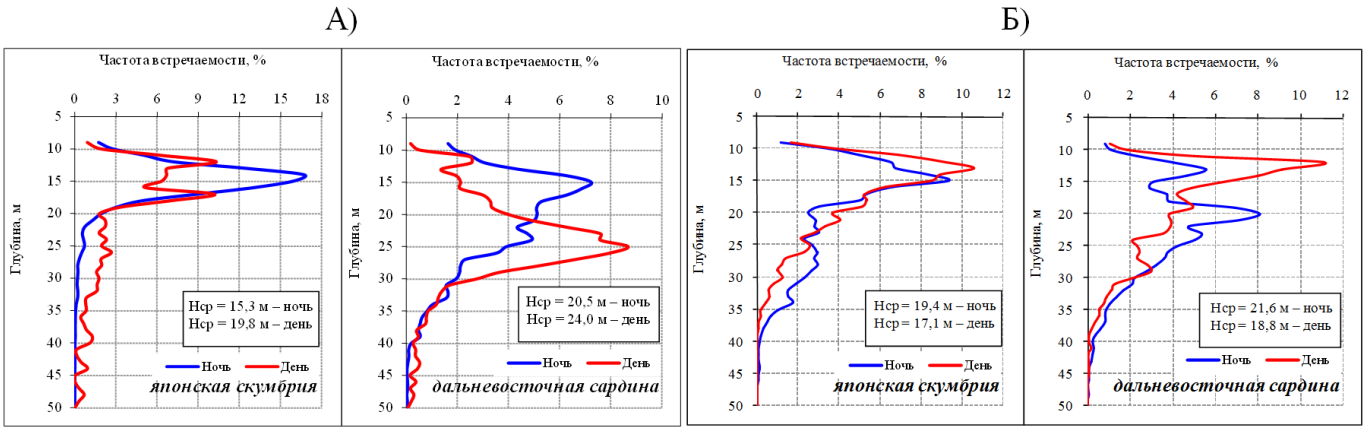

Рис. 7. Вертикальное распределение сардины и скумбрии в СЗТО в 2021 г.: А) июнь–июль; Б) август–сентябрь
Fig. 7. Vertical distribution of chub mackerel and japanese pilchard in the Pacific Northwest in 2021: A) June–July, Б) August–September

Летом 2021 г. наблюдалось отличное от предыдущих лет вертикальное распределение сардины и скумбрии. Наметилось смещение с наступлением ночи части особей ближе к поверхности. Т. е. суточные вертикальные перемещения подчинялись типичному образу поведения мигрирующих рыб. В светлое время суток ядро скоплений скумбрии было расположено в пределах слоя 11–18 м (59% численности). Другая часть рыб находилась в нижележащих горизонтах. Средневзвешенная глубина обитания составляла 19,8 м. В темное время 95% численности скумбрии было учтено в диапазоне глубин 10–20 м с центром концентрации на глубине 15,3 м (рис. 7).

У сардины ядро скоплений днем находилось несколько ниже, чем у скумбрии — в пределах слоя 19–29 м, где было зарегистрировано 66% численности этих рыб. Средневзвешенная глубина — 24 м. Ночью центр концентрации сардины смещался ближе к поверхности (средневзвешенная глубина 20,5 м) и несколько расширялся за счет рассеяния рыб (рис. 7). Диапазон суточных вертикальных миграций в июне–июле 2021 г. составил 4,5 м у скумбрии и 3,5 м у сардины.

Осенью 2021 г. суточные вертикальные перемещения сардины и скумбрии отсутствовали. Днем ядро скоплений находилось в пределах слоя 12–15 м (рис. 7). В темное время суток, как и в предыдущие годы, центр концентрации скоплений за счет рассеяния рыб смещался в более глубокие горизонты: на 2,3 м у скумбрии, и на 2,8 м у сардины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительный рост обилия сардины иваси и японской скумбрии в российской экономической зоне в последние годы диктует необходимость регулярного проведения поисковых работ и специализированных тралово-акустических съемок их запасов. Задачей гидроакустического мониторинга является исследование с высоким разрешением масштабов распространения и характеристик суточного вертикального распределения сардины и скумбрии в СЗТО, их межгодовой и сезонной изменчивости. Для прогнозирования динамики численности сардины и скумбрии сложившийся мониторинг необходимо продолжить. Кроме этого, необходимо внедрить в практику выполнение оперативных промыслово-акустических микросъемок с использованием установленного на промысловых судах штатного рыбопоискового оборудования Simrad. Такие съемки позволят снизить потери времени на поиск промысловых скоплений и подбор оптимальных режимов тралений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Иванов О.А., Суханов В.В. 2002. Структура нектонных сообществ прикурильских вод. Владивосток: ТИНРО-Центр. 154 с.

Кузнецов М.Ю. 2013. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Ч. 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-Центра // Изв. ТИНРО. Т. 172. С. 20–51.

Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. 2021а. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съемок // Тр. ВНИРО. Т. 183. С. 174–190.

Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. 2021б. Исследование акустической силы цели японской скумбрии в северо-западной части Тихого океана in situ // Тр. ВНИРО. Т. 184. С. 73–86.

Porteiro C., Carrera P., Miquel J. 1996. Analysis of Spanish acoustic surveys for sardine, 1991–1993: abundance estimates and inter-annual variability // ICES Journal of Marine Science. № 53. P. 429–433.

УДК 575.86:597.553.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВЫЯСНЕНИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ГОЛЬЦОВ РОДА *SALVELINUS*

Алла Геннадьевна Олейник, Андрей Данилович Кухлевский, Любовь Андреевна Скурихина

Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН, Владивосток, Россия, alla_oleinik@mail.ru, kukhlevskiy@hotmail.com, skurikhina@gmail.com

Аннотация. Род *Salvelinus* — один из самых богатых видами родов лососевых (Salmoniformes: Salmonidae). На всем широком циркумполярном ареале гольцы являются идеальными модельными объектами для экологических и эволюционных исследований и хорошими индикаторами состояния северных экосистем в ответ на увеличивающуюся эксплуатацию Арктики. Одновременно гольцы проявляют биологические признаки, затрудняющие реконструкцию филогении рода: высокая морфологическая и экологическая изменчивость, быстрая радиация, интрогрессивная гибридизация, локальные адаптации. Это приводит к неточному определению видовой принадлежности отдельных популяций и, как следствие, ошибочным филогенетическим выводам. Мы представляем недавнее исследование полных митохондриальных геномов гольцов рода *Salvelinus*, посвященное биоразнообразию в Северо-Восточной Азии. Наше исследование показало, что митохондриальные геномы могут обеспечить устойчивое и надежное филогенетическое дерево с возможностью разрешения отношений между близкородственными видами гольцов. Наличие реперных последовательностей позволяет не только идентифицировать узкоареальные, эндемичные таксоны, межвидовые группы, важные для эволюции, и/или спорные таксоны, но в дальнейшем тестировать случаи интрогрессивной гибридизации между ледниковыми филогенетическими линиями.

Ключевые слова: гольцы, *Salvelinus*, мтДНК, митогеном, филогения, биоразнообразие

Благодарности: авторы посвящают эту статью памяти выдающегося ихтиолога Игоря Александровича Черешнева и выражают глубокую признательность коллегам, безвозмездно пополнившим коллекцию препаратов ДНК гольцов рода *Salvelinus* лаборатории генетики ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Исследование поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 20-04-00205).

THE USE OF MOLECULAR MARKERS FOR IDENTIFICATION AND FIGURING OUT THE ORIGIN OF UNIQUE POPULATIONS OF *SALVELINUS*

Alla G. Oleinik, Andrey D. Kukhlevsky, Lubov A. Skurikhina

Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, alla_oleinik@mail.ru, kukhlevskiy@hotmail.com, skurikhina@gmail.com

Abstract. Genus *Salvelinus* is one of the most species-rich genera of salmonids (Salmoniformes: Salmonidae). Throughout its wide circumpolar range, charrs are perfect model objects for ecological and evolutionary studies and good indicators of the state of northern ecosystem in response to increasing exploitation of the Arctic. Charrs demonstrate biological traits that complicate the reconstruction of the genus phylogeny: high morphological and ecological variability, rapid radiation, introgressive hybridization, local adaptations. That leads to inaccurate identification of the species affiliation of particular populations and, as a result, can provide erroneous tree topologies and phylogenetic mistakes. We are presenting results of recent study of *Salvelinus* mitochondrial genomes focusing on the biodiversity within northeastern Asia. Our research has shown that the mitochondrial genomes can provide a robust and reliable phylogenetic tree and resolve the relationships of closely related charr species. Presence of the reference sequences allows not only to identify narrow-range endemic taxa, interspecies groups important for evolution and/or disputable charr taxa, but also to test cases of the introgressive hybridization between glacial phylogenetic lineages.

Keywords: charr, *Salvelinus*, mtDNA, mitogenome, phylogeny, biodiversity

Acknowledgments: authors dedicate this article to the memory of the outstanding ichthyologist Igor Alexandovich Chereshnev, and express their deep gratitude to their colleagues who donated to the collection of DNA samples of charrs of the genus Salvelinus in the Laboratory of Genetics, A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology FEB RAS. The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 20-04-00205).

Митогеномика, или изучение полных последовательностей митохондриальных геномов, была предложена в качестве полезного инструмента для филогенетического анализа почти всех видов организмов, включая рыб (Miya, Nishida, 2015). Митохондриальные геномы оказались более информативны, чем отдельные гены митохондриальной (мтДНК), их фрагменты или некодирующие участки (Yamanoue et al., 2008). Учитывая экономическую важность рыбных ресурсов, для рыб была развернута общедоступная специализированная международная программа MitoFish (http://mitofish.aori.u-tokyo.ac.jp). По данным на 20 октября 2021 года база MitoFish включает 3074 полных митохондриальных геномов, представляющих отдельные виды. Очевидно, что применительно к рыбам произошел революционный перелом в секвенировании митохондриальных геномов.

На основе новых данных были опубликованы несколько филогений для отдельных родов и семейства лососевых рыб (Balakirev et al., 2016; Horreo, 2017; и др.). Но проблема таких филогенетических реконструкций заключается в представительстве разными видами/подвидами/формами того или иного исследуемого таксона. Самый полный набор данных для лососевых рыб до недавнего времени включал последовательности для 25 таксонов, а наименее изученным в этом отношении оказался род *Salvelinus,* который является доминирующим по биоразнообразию среди лососевых рыб (Klemetsen, 2010). Одновременно гольцы проявляют биологические признаки, затрудняющие реконструкцию филогении рода: высокая морфологическая и экологическая изменчивость, быстрая радиация, интрогрессивная гибридизация, локальные адаптации (Савваитова, 1989; Taylor, 2016). К сожалению, подавляющее большинство филогенетических исследований гольцов ограничивается анализом последовательностей мтДНК разной длины одного или нескольких генов. Поэтому, несмотря на достаточное число работ, к настоящему времени не удалось обобщить молекулярно-генетические данные в консенсусную филогению. Остался целый ряд филогенетических проблем, требующих решений на основе новых методов и методологических подходов.

Филогенетические исследования узкоареальных, эндемичных и спорных таксонов гольцов, оригинальные описания большинства из которых основаны исключительно на морфологических признаках, значительно выигрывают от секвенирования полных митохондриальных геномов (Balakirev et al., 2016; но см. Олейник и др., 2019б). Среди таких таксонов мы выделили следующих эндемичных гольцов: из оз. Начикинского (Камчатка) *Salvelinus* sp. 4 (согласно: Богуцкая, Насека, 2004), из оз. Эльгыгытгын (Чукотка) малоротую палию *S. elgyticus*, боганидскую палию *S. boganidae*, длинноперую палию Световидова *Salvethymus svetovidovi* и гольца Леванидова *S. levanidovi*, сведения о которых отсутствовали в международных базах данных NCBI/GenBank. Каждый из этих таксонов по-своему уникален и интересен, со специфическим набором морфологических признаков. Голец Леванидова впервые был описан как вид, обитающий на небольшом ареале в северной части Охотского моря. В процессе эволюции он сохранил примитивный кариотип, свойственный также американским видам гольцов (американской и озерной палии). Три других вида, *S. elgyticus*, *S. boganidae* и *Salvethymus svetovidovi*, входят в уникальное сообщество древнего высокогорного озера Эльгыгытгын. По мнению Викторовского (1978), своеобразие *Salvelinus* sp. 4 связано с депрессией ледникового Начикинского озера, которое никогда не подвергалось влиянию трансгрессий.

Идентификация на основе полных митохондриальных геномов дополнит традиционные методы анализа и обеспечит более точное разрешение филогенетических отношений внутри рода. Полученные результаты необходимы для оценки и мониторинга биологического разнообразия, а также природоохранных мер в условиях усиливающегося антропогенного воздействия на популяционные системы промысловых рыб, к которым относятся гольцы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа основана на оригинальном материале из коллекции ДНК лососевых рыб лаборатории генетики ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, которая использовалась для филогенетических (Олейник и др., 2015) и широких филогеографических исследований (Yamamoto et al., 2014; Олейник и др., 2019а). Большинство образцов в коллекции хранится в виде спиртовых препаратов тотальной ДНК, выделенной из мышечной ткани и плавников по стандартной методике (Sambrook et al., 1989).

Для определения нуклеотидных последовательностей (секвенирования) полных митохондриальных геномов гольцов использовали два подхода. Во-первых,

проводили деление мтДНК на 6 участков с последующей амплификацией высокоточной полимеразой Phusion High-Fidelity DNA. Полученные таким образом продукты PCR (длина 2000–5000 bp) нормализовались по концентрации и фрагментировались ультразвуком. На следующей стадии к образцам лигировались баркод-адаптеры и, после дополнительных протокольных процедур, выполнялось секвенирование с использованием ионного полупроводникового секвенатора Ion S5 (ThermoFisherScientific). Однако для некоторых коллекционных препаратов длинные последовательности мтДНК амплифицировать не удалось. В этом случае амплификацию и последующее секвенирование геномных фрагментов (700–1100 bp) проводили с использованием 23 пар специфических праймеров и набора BigDye Terminator v3.1 (Applied Biosystems, США). Специфические праймеры для амплификации и секвенирования были разработаны авторами на основе опубликованных в Genbank митогеномов гольцов рода *Salvelinus* с помощью программы mitoPrimer_V1 (Yang et al., 2011). Последовательности нуклеотидов определяли в генетическом анализаторе GA3500 (Applied Biosystems, США). Секвенированные фрагменты были собраны в геномы и аннотированы с использованием Geneious R11 (http://www.geneious.com/).

Для представления филогенетических отношений были построены дендрограммы: *BioNJ* на основе LogDet дистанций, и наибольшего правдоподобия (*ML*) для GTR + G + I модели нуклеотидных замещений, выбранной на основе BIC-критерия. Эвристический поиск *ML*-деревьев выполнен в 100 повторностях, со случайным включением последовательностей, перестановками по SPR-алгоритму. Устойчивость топологий всех деревьев оценивалась с помощью бутстрэп-анализа (1000 реплик). Статистический и филогенетический анализы проводили в программе MEGA X (Kumar et al., 2018). Для идентификации новых последовательностей из базы данных GenBank в анализ были включены 22 митохондриальных генома представителей рода *Salvelinus* и внешних групп (*Parahucho, Salmo*) (Таблица 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые секвенированы десять полных митохондриальных геномов представителей гольцов рода *Salvelinus*, сведения о которых отсутствовали в базах данных. Образцы ДНК рыб хранятся в коллекции лаборатории генетики ННЦМБ им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Оригинальные последовательности депонированы в базе данных GenBank (таблица 1).

Таблица 1. Список таксонов гольцов рода *Salvelinus* и внешних групп (*Parahucho*, *Salmo*) с Genbank — номерами полных митохондриальных геномов, включенных в филогенетический анализ
Table 1. List of the taxa of charrs of the genus *Salvelinus* and outgroups (*Parahicho*, *Salmo*) with the Genbank numbers of complete mitochondrial genomes included in phylogenetic analysis

Таксон	Видовое название	Длина (bp)	GenBank - номер
Salvelinus albus	Белый голец	16653	NC_028018
Salvelinus albus	Белый голец	16653	KT266871
Salvelinus alpinus	Арктический голец	16659	NC_000861
Salvelinus alpinus alpinus	Арктический голец	16657	MN957795
Salvelinus alpinus alpinus	Арктический голец	16655	MN957796
Salvelinus alpinus alpinus	Арктический голец	16655	MN957797
Salvelinus alpinus erythrinus	Арктический голец	16652	MW664921
Salvelinus alpinus erythrinus	Арктический голец	16652	MW664922
Salvelinus boganidae	Боганидский голец	16655	**NC_046706**
Salvelinus curilus	Южная мальма	16654	NC_024585
Salvelinus curilus	Южная мальма	16652	NC_037502
Salvelinus elgyticus	Малоротая палия	16654	**NC_046707**
Salvelinus elgyticus	Малоротая палия	16654	**MK695625**
Salvelinus fontinalis	Американская малоротая палия	16624	NC_000860
Salvelinus leucomaenis	Кунджа	16655	KF974451
Salvelinus levanidovi	Голец Леванидова	16624	**NC_046708**
Salvelinus malma kuznetzovi	Каменный голец	16654	NC_029877
Salvelinus malma kuznetzovi	Каменный голец	16654	KU674352
Salvelinus malma malma	Северная мальма	16654	KJ746618
Salvelinus namaycush	Озерная палия	16653	NC_036392
Salvelinus sp. 4	Начикинский голец	16654	**MW181766**
Salvelinus sp. 4	Начикинский голец	16654	**MW181767**
Salvelinus sp. 4	Начикинский голец	16654	**MW181768**
Salvelinus taranetzi	Голец Таранца	16654	NC_046710
Salvelinus taranetzi	Голец Таранца	16654	MK695631
Salvethymus svetovidovi	Длинноперая палия Световидова	16655	**NC_046709**
Salvethymus svetovidovi	Длинноперая палия Световидова	16655	**MK695628**
Salvethymus svetovidovi	Длинноперая палия Световидова	16655	**MK695629**
Salmo salar	Атлантический лосось	16669	AF133701
Salmo trutta trutta	Кумжа	16677	AM910409
Parahucho perryi	Сахалинский таймень	16652	KJ816315
Parahucho perryi	Сахалинский таймень	16653	KJ816316

Примечание. Номера, выделенные жирным шрифтом — полные митохондриальные геномы, секвенированные авторами

Длина новых полных митохондриальных геномов варьировала от 16 624 до 16 656 пар нуклеотидов. Геномная организация была идентична типичному митохондриальному геному лососевых рыб: 37 структурных генов, которые кодируют малую (12S) и большую (16S) рибосомальные РНК (рРНК), 22 транспортные РНК (тРНК) и 13 мРНК, относящихся к четырем белок-кодирующим комплексам; два некодирующих участка CR (control region) и OL (replication origin). Состав нуклеотидных оснований соответствовал митохондриальным геномам гольцов (Balakirev et al., 2016; Oleinik et al., 2019): 28,0% A, 26,4% T, 28,6% C, и 17,0% G при небольшом смещении A+T (54,5%). Наблюдается неравномерность распределения изменчивых сайтов по геному, около 56% выявленных замен находится в области генов, кодирующих субъединицы NADH — дегидрогеназы. Число нуклеотидных замещений на сайт (D_{xy}) новых митохондриальных геномов с геномами гольцов, доступными из GenBank, соответствует уровню межвидовой дивергенции рода *Salvelinus* (Олейник и др., 2015).

Филогенетические деревья гольцов рода *Salvelinus* (BioNJ, ML), построенные на основе полных митохондриальных геномов, имеют сходную топологию с очень высокой статистической поддержкой большинства узлов (рис. 1). Филогенетический анализ свидетельствует, что гольцы рода *Salvelinus*, включая *Salvethymus*, являются монофилетической группой лососевых рыб. На филограммах *Sl. svetovidovi* представляет ветвь, которая дивергирует после базальной группы таксонов (*S. fontinalis, S. namaycush, S. leucomaenis* и *S. levanidovi*). Первоначально предполагалось, что *Sl. svetovidovi* является одним из самых древних таксонов лососевых рыб, филогенетически близким к общему предку гольцов рода *Salvelinus* (Черешнев и др., 2002). В дальнейшем эта гипотеза вызвала широкую дискуссию. Было отмечено, что *Sl. svetovidovi* характеризуется мозаичным сочетанием морфологических и кариологических признаков, свойственным как филогенетически продвинутым, так и архаичным таксонам лососевых рыб, что может свидетельствовать о глубоко зашедшей

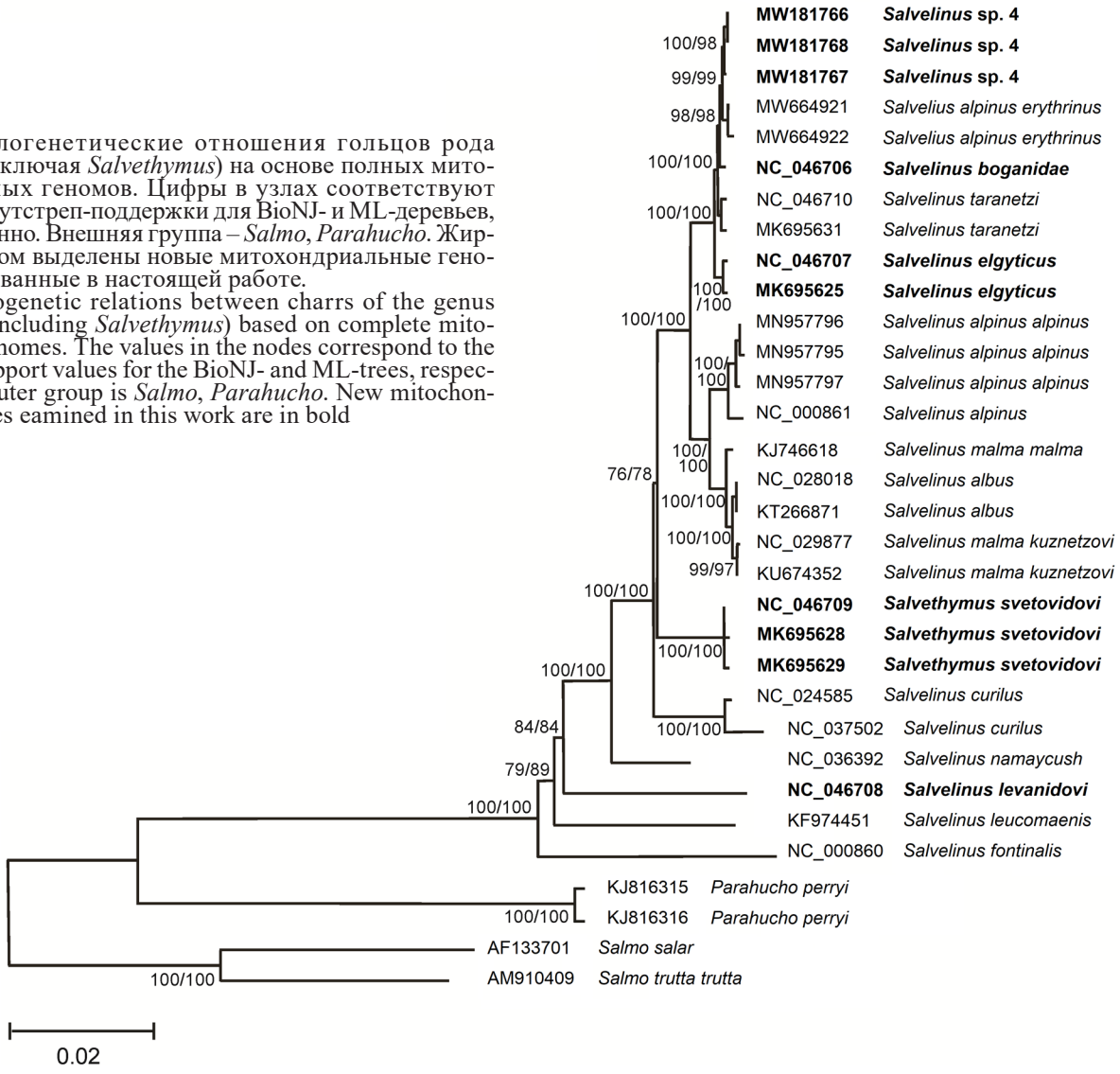

Рис. 1. Филогенетические отношения гольцов рода *Salvelinus* (включая *Salvethymus*) на основе полных митохондриальных геномов. Цифры в узлах соответствуют значениям бутстреп-поддержки для BioNJ- и ML-деревьев, соответственно. Внешняя группа – *Salmo*, *Parahucho*. Жирным шрифтом выделены новые митохондриальные геномы, исследованные в настоящей работе.

Fig. 1. Phylogenetic relations between charrs of the genus *Salvelinus* (including *Salvethymus*) based on complete mitochondrial genomes. The values in the nodes correspond to the bootstrap support values for the BioNJ- and ML-trees, respectively. The outer group is *Salmo*, *Parahucho*. New mitochondrial genomes eamined in this work are in bold

специализации. Кроме этого, были выдвинуты и альтернативные гипотезы, предполагающие ревизию существующих представлений о древнем происхождении и таксономическом статусе *Sl. svetovidovi* (Osinov et al., 2015). Согласно сравнительному анализу митохондриальных геномов, реальная степень генетической обособленности *Sl. svetovidovi* примерно соответствует *S. curilus*, и он не является древним таксоном, близким к предку рода. В отличие от предыдущих реконструкций (Brunner et al., 2001; Yamamoto et al., 2014; Osinov et al., 2015), филогения на основе полных митохондриальных геномов позволяет точно определить положение ветви *Salvethymus* внутри рода *Salvelinus.*

Секвенирование митохондриального генома гольца Леванидова *S. levanidovi* позволяет обсуждать последовательность дивергенции ветвей в основании филограмм при полном представительстве базальных таксонов. Филогения митохондриальных геномов дает новые доказательства того, что *S. levanidovi* связан с общим предком рода. Четыре вида — *S. fontinalis, S. levanidovi, S. leucomaensis* и *S. namaycus* — образуют базальную группу таксонов, каждый из которых принадлежит к независимой эволюционной линии. Филогенетические деревья, выведенные из различных ДНК-маркеров с использованием различных методов филогенетического анализа, продемонстрировали, что базальное положение внутри рода может занимать любой из этих четырех видов (Олейник и др., 2015; Crête-Lafrenière et al., 2012; Osinov et al., 2015). Новые данные доказывают, что ручьевая форель *S. fontinalis* наиболее близка к общему предку рода. Филогенетические отношения между базальными ветвями несколько отличаются от ранее опубликованных, поскольку не поддерживается последовательная дивергенция сестринских групп *S. fontinalis – S. namaycush* и *S. levanidovi – S. leucomaenis* (Lecaudey et al., 2018).

Современные взгляды на филогению рода основаны на изучении изменчивости контрольного участка мтДНК (Brunner et al., 2001; Yamamoto et al., 2014). Выделено несколько филогенетических линий, объединяющих близкородственных гольцов (Атлантическая, Сибирская, Акадийская, Арктическая, Берингийская, Западная и Восточная тихоокеанские). Также было предложено выделить самостоятельную Арктическую линию *S. taranetzi* (Олейник и др., 2015), в которую входят азиатские и североамериканские гольцы с соответствующими гаплотипами. Наши результаты свидетельствуют, что *Salvelinus* sp. 4, *S. a. erythrinus* (NWT), *S. boganidae* и *S. elgyticus* принадлежат к Арктической линии *S. taranetzi*. Положение *Salvelinus* sp. 4 на филограмме строго определено и статистически подтверждено (*BS* = 99%), так же как и сестринские отношения между *Salvelinus* sp. 4 – *S. a. erythrinus* и *S. taranetzi* (*BS* = 100%).

Полученные результаты позволили реконструировать филогенетические связи двух видов гольцов из сообщества оз. Эльгыгытгын. Подтверждена филогенетическая близость *S. boganidae* и *S. elgyticus* и их происхождение от общего предка. Однако на филограмме эти симпатричные озерные гольцы не формируют общий кластер; *S. boganidae* кластеризуется с *S. taranetzi* с Чукотки, а *S. elgyticus* выступает по отношению к ним сестринским таксоном. Появление двух видов гольцов в озере, вероятно, связано с двумя последовательными вселениями предковых ледниковых линий гольца Таранца. Эти линии во время последнего ледникового максимума существовали в разных рефугиумах (убежищах), а потом, расселяясь, вступали во вторичный контакт. Несмотря на устойчивость топологии деревьев, показана возможность исторической интрогрессивной гибридизации между *S. boganidae* и *S. elgyticus*, хотя гибридов между этими озерными гольцами в настоящее время не наблюдается (Oleinik et al., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании филогении полных митохондриальных геномов подтверждены: (1) самостоятельный таксономический статус *S. levanidovi* и его близость к общему предку рода; (2) принадлежность *S. boganidae* и *S. elgyticus* из оз. Эльгыгытгын, а также *Salvelinus* sp. 4 из оз. Начикинского к Арктической линии *S. taranetzi.* Новые данные по митохондриальным геномам подтверждают, что базальная группа рода включает четыре вида — *S. fontinalis*, *S. levanidovi, S. leucomaensis* и *S. namaycus*, которые формируют независимые эволюционные линии. При сравнении митохондриальных геномов мы получили доказательства того, что популяция гольцов из оз. Начикинского, характеризующихся уникальным набором морфологических признаков (Савваитова, 1989), тем не менее является изолированной популяцией *S. taranetzi*. Одновременно было показано, что генетическое сходство географических выборок *Salvelinus* sp. 4 и *S. a. erythrinus* (NWT) обусловлено послеледниковой колонизацией из общих источников. Низкий уровень дивергенции митохондриальных геномов в данном случае связан с недавней фрагментацией ареала общего предка. Ранее нам удалось решить проблему взаимоотношений *S. taranetzi* из Азии и *S. a. erythrinus* Северной Америки (NWT), доказав их филогенетическую близость (Олейник и др., 2019а).

Не вызывает сомнений, что гольцы Арктической линии из Северной Америки *S. a. erythrinus* (sins. *S. a. stagnalis, S. a. taranetzi*) и Северо-Восточной Азии принадлежат к одному виду, который впервые был описан как голец Таранца *S. taranetzi* Кагановский, 1955 из оз. Аччен (Чукотка).

По сравнению с филогенетическими деревьями в предыдущих исследованиях гольцов рода *Salvelinus* (Crête-Lafrenière et al., 2012; Yamamoto et al., 2014; Олейник и др., 2015; Osinov et al., 2015), филогенетическое дерево, основанное на полных митохондриальных геномах, стало более устойчивым и надежным. Ранее было показано, что длинные последовательности мтДНК надежно поддерживают монофилетические группы и дивергенцию ветвей дендрограмм на высших иерархических уровнях у рыб (Miya, Nishida, 2015). Наше исследование подтвердило, что полные митохондриальные геномы могут обеспечить адекватное разрешение противоречивых филогенетических взаимоотношений близкородственных видов гольцов. Наличие реперных митохондриальных геномов позволяет не только идентифицировать узкоареальные, эндемичные таксоны и эволюционно значимые внутривидовые группировки гольцов, но и в дальнейшем поможет тестировать случаи интрогрессивной гибридизации между ледниковыми филогенетическими линиями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Богуцкая Н.Г., Насека А.М. 2004. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М.: Тов-во науч. изданий КМК. 389 с.

Викторовский Р.М. 1978. Механизмы видообразования у гольцов Кроноцкого озера. М.: Наука. 110 с.

Олейник А.Г., Скурихина Л.А., Брыков Вл.А. 2015. Филогения гольцов рода *Salvelinus* по данным анализа митохондриальной ДНК // Генетика. Т. 51, № 1. С. 63–77.

Олейник А.Г., Скурихина Л.А., Кухлевский А.Д. 2019б. О родственных связях каменного гольца *Salvelinus malma kuznetzovi* Taranetz, 1933 (Salmoniformes: Salmonidae) из бассейна реки Камчатка по данным генетического анализа // Биология моря. Т. 45, № 1. С. 35–43.

Олейник А.Г., Скурихина Л.А., Кухлевский А.Д., Бондарь Е.И. 2019а. Генетическая дифференциация гольцов Арктической группы Северо-Восточной Азии и Северной Америки // Генетика. Т. 55, № 3. С. 325–336.

Савваитова К.А. 1989. Арктические гольцы (структура популяционных систем, перспективы хозяйственного использования). М.: Агропромиздат. 224 с.

Черешнев И.А., Волобуев В.В., Шестаков А.В., Фролов С.В. 2002. Лососевидные рыбы Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука. 496 с.

Balakirev E.S., Parensky V.A., Kovalev M.Yu., Ayala F.J. 2016. Complete mitochondrial genome of the stone char *Salvelinus kuznetzovi* (Salmoniformes, Salmonidae) // Mitochondrial DNA B. Vol. 1. № 1. P. 287–288.

Brunner P.C., Douglas M.R., Osinov A., Wilson C.C., Bernatchez L. 2001. Holarctic phylogeography of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences // Evolution. Vol. 55. № 5. P. 573–586.

Crête-Lafrenière A., Weir L.K., Bernatchez L. 2012. Framing the Salmonidae family phylogenetic portrait: a more comprehensive picture from increased taxon sampling // PLoS ONE 7(10): e46662. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046662

Horreo J.L. 2017. Revisiting the mitogenomic phylogeny of Salmoninae: new insights thanks to recent sequencing advances // PeerJ 5: e3828. https://doi.org/10.7717/peerj.3828

Klemetsen A. 2010. The charr problem revisited: Exceptional phenotypic plasticity promotes ecological speciation in postglacial lakes // *Freshwater* Reviews. Vol. 3. P. 49–74.

Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. 2018. MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms // Molecular Biology and Evolution. Vol. 35. P. 1547–1549.

Lecaudey L.A., Schliewen U.K., Osinov A.G., Taylor E.B., Bernatchez L., Weiss S.J. 2018. Inferring phylogenetic structure, hybridization and divergence times within Salmoninae (Teleostei: Salmonidae) using RAD-sequencing // Molecular Phylogenetisc and Evolution. Vol. 124. P. 82–99.

Miya M., Nishida M. 2015. The mitogenomic contributions to molecular phylogenetics and evolution of fishes: a 15-year retrospect // Ichthyological Research. Vol. 62. P. 29–71.

Oleinik A.G., Skurikhina L.A., Kukhlevsky A.D., Semenchenko A.A. 2019. Complete mitochondrial genome and phylogenetic position of the Taranetz charr *Salvelinus taranetzi* Kaganovsky, 1955 (Salmoniformes: Salmonidae) // Mitochondrial DNA B. Vol. 4. № 2. P. 2491–2492.

Oleinik A.G., Skurikhina L.A., Kukhlevsky A.D., Semenchenko A.A. 2021. The first complete mitochondrial genomes of two species of charr, *Salvelinus boganidae* and *Salvelinus elgyticus,* from Lake El'gygytgyn (Chukotka) // Polar Biology. Vol. 44. P. 1209–1217.

Osinov A.G., Senchukova A.L., Mugue N.S., Pavlov S.D., Chereshnev I.A. 2015. Speciation and genetic divergence of three species of charr from ancient Lake El'gygytgyn (Chukotka) and their phylogenetic relationships with other representatives of the genus *Salvelinus* // Biological Journal of the Linnean Society. Vol. 116. № 1. P. 63–85.

Sambrook J., Fritsch E.F., Maniatis T. 1989. Molecular cloning: a laboratory manual. N.Y.: Cold Spring Harbor Lab. Press. 1626 p.

Taylor E.B. 2016. The Arctic char (*Salvelinus alpinus*) "complex" in North America revisited // Hydrobiologia. Vol. 783. № 1. P. 283–293.

Yamamoto S., Maekawa K., Morita K., Crane P.A., Oleinik A.G. 2014. Phylogeography of the salmonid fish, Dolly Varden (*Salvelinus malma*): multiple glacial refugia in the North Pacific rim // Zoological Sciences. Vol. 31. № 10. P. 660–670.

Yamanoue Y., Miya M., Matsuura K., Katoh M., Sakai H., Nishida M. 2008. A new perspective on phylogeny and evolution of tetraodontiform fishes (Pisces: Acanthopterygii) based on whole mitochondrial genome sequences: Basal ecological diversification? // BMC Evolutionary Biology. Vol. 8. P. 212.

Yang C.H., Chang H.W., Ho C.H., Chou Y.C., Chuang L.Y. 2011. Conserved PCR primer set designing for closely-related species to complete mitochondrial genome sequencing using a sliding window-based PSO algorithm // PLoS ONE 6(3): e17729. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017729

УДК 597.553.2:575.17

ФИЛОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СИБИРСКОГО ХАРИУСА *THYMALLUS ARCTICUS* (PALLAS) НА ОСНОВЕ ФРАГМЕНТА CO1 МТДНК

Екатерина Валериановна Пономарева[1], Александр Анатольевич Волков[2], Галина Анатольевна Макеенко[3], Мария Валериановна Пономарева[1], Елена Александровна Шубина[4]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, kponom@mail.ru, ponomasha@mail.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия, alexavolkov@gmail.com
[3]Мурманский арктический государственный университет, Мурманск, Россия, gal-mk@yandex.ru
[4]Научно-исследовательский институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского (МГУ), Москва, Россия, shubina@genebee.msu.ru

Аннотация. В работе проанализирован фрагмент гена CO1 мтДНК у хариусов из водоемов бассейнов Оби, Енисея, Камчатки, Таловки, также в анализ были включены рыбы с гаплотипами сибирского хариуса из водоемов Европейского Севера — всего 131 рыба. Всего было обнаружено 11 гаплотипов. В бассейнах Оби, Енисея и водоемах Европейского Севера доминировал один и тот же гаплотип. В р. Таловке было обнаружено три гаплотипа, принадлежащие двум филогенетическим линиям, дистанции между которыми составили 0,01. В р. Камчатке доминировал один гаплотип, обнаруженный только у хариусов в этой реке.

Ключевые слова: сибирский хариус, *T. arcticus* (Pallas), цитохром С оксидаза 1, CO1

Благодарности: авторы выражают искреннюю признательность Н.В. Гордеевой, О.О. Колачевской, Г.Н. Маркевичу за предоставленные для исследования выборки.

PHYLOGEOGRAPHIC LINEAGES OF SIBERIAN GRAYLING *THYMALLUS ARCTICUS* (PALLAS) BASED ON THE MTDNA CO1 FRAGMENT

Ekaterina V. Ponomareva[1], Alexander A. Volkov[2], Galina A. Makeenko[3], Mariia V. Ponomareva[1], Elena A. Shubina[4]

[1]Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia, kponom@mail.ru, ponomasha@mail.ru
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia, alexavolkov@gmail.com
[3]Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia, gal-mk@yandex.ru
[4]Belozersky Research Institute of Physico-Chemical Biology (MSU), Moscow, Russia, shubina@genebee.msu.ru

Abstract. The mtDNA CO1 gene fragment was analyzed in graylings *T. arcticus* from waterbodies of the Ob, Yenisei, Kamchatka, and Talovka basins, and fishes with *T. arcticus* haplotypes from European North waterbodies were also included in the analysis, the total sample of 131 individuals. A total of 11 haplotypes were found. One haplotype dominated in the basins of the Ob, Yenisei and European North waterbodies. In the Talovka, 3 haplotypes were found belonging to two phylogenetic lines, the distance between them was 0.01. One haplotype dominated in the Kamchatka, found in graylings only in this river.

Keywords: Siberian grayling, *T. arcticus* (Pallas), cytochrome C oxidase 1, CO1

Acknowledgments: the authors express their sincere gratitude to N.V. Gordeeva, O.O. Kolachevskaya and G.N. Markevich for providing samples for this study.

Ареал сибирского хариуса охватывает арктическое побережье Азии и Северной Америки. Исторически у сибирского хариуса на основе морфологических признаков выделялось разное количество подвидов (Световидов, 1936; Берг, 1948), с развитием генетических методов исследований часть из них были впоследствии признаны самостоятельными видами (Книжин и др., 2006а, б; Книжин, 2011; Weiss et al., 2020, 2021). К настоящему моменту на российской части ареала выделяется несколько подвидов сибирского хариуса: западносибирский *T. arcticus arcticus*, восточносибирский *T. arcticus pallasii*, камчатский *T. arcti-*

cus mertensii, аляскинский *T. arcticus signifier* (Тугарина, 1972; Скопец, Прокопьев, 1990; Скопец, 1991, 1993; Макоедов, 1999), при этом таксономический статус этих подвидов также обсуждается, и в ряде случаев они выделяются в самостоятельные виды (Balakirev et al., 2017). Несмотря на то, что видовое название *T. arcticus* — сибирский, он также встречается к западу от Уральских гор и обитает симпатрично с европейским хариусом *Thymallus thymallus* (L.) (Берг, 1948; Зиновьев, 1988; Пономарев, 2014), образуя плодовитое потомство, что было подтверждено и генетическими методами (Шубин, Захаров, 1984). С помощью секвенирования митохондриальной ДНК гаплотипы сибирского хариуса были обнаружены в выборках хариуса значительно западнее Уральских гор — в притоках Северной Двины и в реках Кольского полуострова (Koskinen et al., 2000; Ponomareva et al., 2019а).

При этом, несмотря на значительно увеличившееся количество исследований, из-за труднодоступности многих мест обитания хариусов еще недостаточно известно как о морфологических, биологических и генетических особенностях, так и о границах ареалов многих представителей этого рода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В анализ были включены выборки сибирского хариуса *T. arcticus* из рек Обь (приполярный Урал: оз. Большая Ходата и оз. Большое Щучье), Енисей (р. Курейка, р. Яктали), р. Камчатки (урочище Уловное), р. Таловки (Пенжинская губа) и рыбы с гаплотипами сибирского хариуса (Ponomareva et al., 2019б) из водоемов бассейна Белого моря (р. Умба, р. Поной, р. Варзуга, р. Северная Двина, оз. Сейдозеро, оз. Энгозеро), — всего 131 рыба.

Исследовали последовательности фрагмента гена цитохромоксидазы 1 (CO1) мтДНК, применяемого для ДНК-штрихкодирования (DNA barcoding). Для ПЦР использовали универсальные праймеры для рыб (Ivanova et al., 2007) с температурой отжига 52 °C. Множественное выравнивание последовательностей проводили в программе Geneious 6.0.5 (Biomatters Ltd.). Для построения дистанционной матрицы использовали программу Mega X (Kumar et al., 2018). Байесовский информационный критерий (BIC) был применен для определения наиболее соответствующей модели замен (Kimura, 1980). Дерево гаплотипов было построено методом присоединения соседей (NJ) с бутстреп-поддержкой (10 000 итераций) в программе Geneious 6.0.5. TCS (Clement et al., 2002), алгоритм был использован для построения сети гаплотипов в программе PopArt (Bandelt et al., 1999). Для матрицы дистанций, построения дерева и сети гаплотипов были использованы последовательности, депонированные в базе нуклеотидных последовательностей GenBank® (NCBI), содержащие исследованные участки мтДНК: FJ 872559 (Юкон, Канада), MF 621752 (Аляска, США), MF 621753 (Аляска, США), MT 063015 (Маккензи, Канада), MT 063011 (дельта Лены), MT 063013 (Улья, Охотское море), NC_056305 (Колыма).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

После множественного выравнивания последовательностей был исследован участок гена CO1 длиной 703 п. н., всего было выявлено 11 гаплотипов, которые составили две группы гаплотипов, отличающиеся на 6–9 замен (~1% различий). В выборках из рек бассейна Белого моря, рек Обь и Енисей доминировал гаплотип, обозначенный нами как En-Ob-Kol, который совпадал с гаплотипом из Генбанка MT 063012 (Малая Лахорта, Обь). В р. Камчатке было обнаружено 2 гаплотипа, отличающиеся на 1 замену, в р. Таловке — 3 гаплотипа, основной гаплотип отличался от двух других на 5–6 замен, один из гаплотипов совпадал с последовательностями из Генбанка MT 063010 и NC 056305 (р. Колыма).

Двухпараметрическая модель Кимуры (K2P) была применена для построения матрицы дистанций между гаплотипами. Гаплотипы, отличающиеся на 1–2 замены, были объединены в группы: Маккензи (MT 063015), Сев. Америка (FJ 872559, MF 621752, MF 621753, MT 063015), Ен_Обь_Бм (6 гаплотипов из Енисея, Оби, бас. Белого моря), Камчатка (2 гаплотипа из р. Камчатки), Таловка_1 (2 гаплотипа из р. Таловки), Таловка_2 (1 гаплотип), Колыма (NC_056305), Лена–Улья (гаплотипы MT 063011-14 из дельты р. Лены и р. Улья (бас. Охотского моря) на исследуемом участке совпадали, в расчет дистанций был включен гаплотип MT 063011). Наибольшие дистанции наблюдались между гаплотипом из р. Маккензи и всеми другими гаплотипами, при этом максимальные дистанции были между этим гаплотипом и гаплотипами из рек Колыма – Таловка и р. Камчатки, а наименьшая дистанция наблюдалась между Маккензи и гаплотипами из рек Лена–Улья. В целом, наименьшие дистанции наблюдались между следующими парами гаплотипов: Колыма и Таловка_2, Таловка_1 и Камчатка. При этом наибольшие дистанции между парами гаплотипов из российской части ареала наблюдались между гаплотипами из Оби – Енисея – бассейна Белого моря и Колымы – Камчатки – Таловки, при этом стоит отметить большие дистанции (0,01) между двумя филогенетическими линиями из р. Таловки (табл. 1).

На дереве полученные в работе гаплотипы из Оби, Енисея и беломорских водоемов формируют общий кластер, к которому наиболее близки гаплотипы из дельты Лены и р. Улья (Охотское море). Гаплотипы хариусов из рек Камчатка и Таловка формируют общий кластер с североамериканскими гаплотипами, образуя два самостоятельных кластера: Камчатка и гаплотип из Таловки, и другой кластер — Колыма и два гаплотипа из р. Таловка, при этом у большинства образуемых кластеров высокая бутстреп-поддержка (рис. 1). Наиболее удален от всех остальных кластеров гаплотип из Маккензи (рис. 1).

Сеть гаплотипов формирует аналогичную построенному дереву топологию расположения ветвей. В структуре сети четко просматривается звездообразная структура гаплотипов из Енисея, Оби, беломорских водоемов, с доминированием одного гаплотипа во всех этих выборках. Более сложная (рис. 2) топо-

Таблица 1. Под диагональю — матрица попарных дистанций K2P между группами гаплотипов CO1 (обозначение групп см. в тексте) сибирского хариуса *T. arcticus*, над диагональю — матрица стандартных отклонений
Table 1. Under the diagonal – a matrix of pairwise distances K2R between hroups of CO1 haplotypes (see the text for the designations of the groups) of the Arctic grayling *T. arcticus*, above the diagonal – a matrix of standard deviations

№ п/п	Группы	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Сев. Америка		0,004	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
2	Маккензи	0,015		0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005
3	Ен_Обь_Бм	0,012	0,016		0,002	0,004	0,004	0,004	0,004
4	Лена-Улья	0,008	0,011	0,005		0,003	0,004	0,003	0,003
5	Колыма	0,008	0,017	0,013	0,009		0,001	0,003	0,003
6	Таловка_2	0,008	0,018	0,014	0,009	0,001		0,003	0,003
7	Таловка_1	0,006	0,016	0,012	0,007	0,007	0,008		0,002
8	Камчатка	0,008	0,018	0,014	0,009	0,009	0,010	0,002	

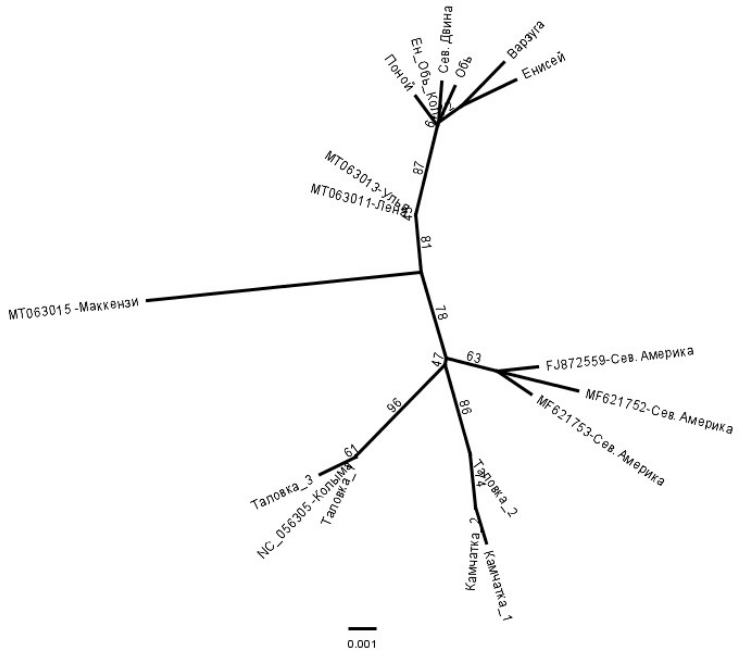

Рис. 1. NJ неукорененное дерево гаплотипов, построенное на основе фрагмента CO1 сибирского хариуса *T. arcticus*. В узлах ветвления — значения бутстреп поддержки
Fig. 1. The NJ unrooted haplotype tree, based on the CO1 fragment of the Siberian grayling *T. arcticus*. The bootstrap support values are at the branch nodes

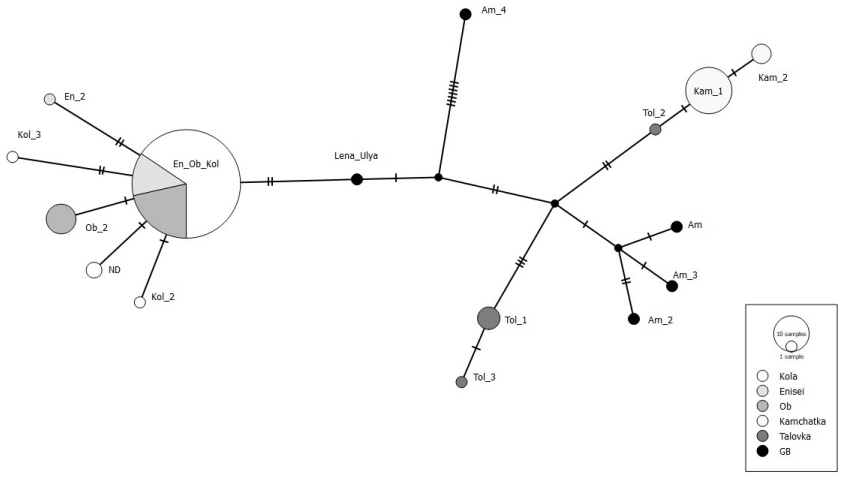

Рис. 2. TCS сеть гаплотипов сибирского хариуса *T. arcticus*, построенная на основе фрагмента CO1. Цветом обозначены регионы происхождения гаплотипов, диаметр круга пропорционален количеству особей с данным гаплотипом, черточки обозначают количество замен между гаплотипами. GB — гаплотипы из Генбанка, выделены черным цветом
Fig. 2. The TCS net of haplotypes of the Siberian grayling *T. arcticus*, based on the CO1 fragment. The regions of the origin of haplotypes are marked with color, the diameter of the circle is proportional to the number of individuals with given haplotype, the dashes indicate the number of substitutions between the haplotypes. GB – haplotypes from the Genbank, marked in black

логия сети наблюдается для гаплотипов из Камчатки и Таловки: для этих ветвей отсутствует общий предковый гаплотип.

Для исследованного фрагмента CO1, который применяется для ДНК-штрихкодирования рыб, накоплено большое количество данных: видовым порогом считается 1% различий, больше 3% различий считается «хорошим» для разделения видов. Для большинства пар средние дистанции были на уровне внутривидовых (<1%), за исключением дистанций с североамериканскими группами (0,015–0,018) и между географически крайними гаплотипами из Енисея – Оби – Белого моря и Колымы – Камчатки (0,014–0,015). Между гаплотипами из Маккензи и другими североамериканскими дистанции достигают 0,015 (1,5%), что превышает большинство попарных дистанций между гаплотипами азиатской части ареала, при этом между гаплотипами из р. Таловки дистанции составляют 0,01 (1%).

Таким образом, на основе анализа гаплотипов у сибирского хариуса наиболее обособлена филогеографическая линия западносибирского хариуса, которая совпадает и с географическим расположением его ареала. На основе контрольного региона митохондриальной ДНК, который эволюционирует с более высокой скоростью, чем CO1, количество выявляемых гаплотипов почти в два раза больше, и в бассейнах крупных рек (Оби, Енисея) выделяются самостоятельные кластеры, которые отражают географическое происхождение хариусов (Ponomareva et al., 2019б). Нахождение гаплотипов сибирского хариуса на Европейском Севере указывает, что палеоареал сибирского хариуса простирался гораздо дальше на запад и была связь между низовьями Оби, Енисея и европейскими водоемами.

Для других подвидов сибирского хариуса картина распространения гаплотипов более сложная, для восточносибирского хариуса выделены две линии: одна (дельта Лены – Улья) генетически ближе к западносибирским гаплотипам, другая (Колыма) ближе к камчатским. Внутри выделяемого камчатского подвида также выделяются две линии, одна из которых имеет общее происхождение с хариусом из Колымы, а другая — «аутентичная» камчатская, при этом эти две линии значительно различаются генетически (~1%).

Таким образом, анализ фрагмента гена CO1 мтДНК помогает более четко охарактеризовать современное разнообразие и структуру популяций хариуса, а также прояснить пути их формирования. Для дальнейшего изучения вопросов исторического формирования вида *T. arcticus* требуется анализ генетического материала с более обширной территории, особенно на северо-востоке Азии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача ревизии состава и структуры рода *Thymallus* сохраняет свою актуальность. В целом, представления о систематике хариусов, обитающих в России, развивались в сторону увеличения количества видов, в основном за счет форм, которые первоначально относили к сибирскому хариусу. В систематике рода *Thymallus* обозначились два направления: в Северной Америке доминирует интеграция, большинство исследователей сейчас объединяет всех хариусов Северной Америки в один подвид вида *T. arcticus*, а в Западной Европе некоторые формы *T. thymallus* признаются самостоятельными видами. Все это требует расширения генетического исследования хариусов, в том числе в регионах, где выявлены факты симпатричного обитания представителей разных видов хариуса. Такой полиморфный вид, как сибирский хариус, может быть одним из модельных видов для выработки современных подходов к уточнению классификации рыб, включая отработку согласования генетических, морфологических, экологических характеристик для задач уточнения классификации. Представляется, что только на такой основе в дальнейшем может быть осуществлена эффективная ревизия рода *Thymallus*. Кроме того, генетические исследования хариусов представляют особую значимость для прояснения процессов поздне- и послеледникового расселения, позволивших стеногалинным рыбам, не совершающим длительных миграций, заселить обширную территорию.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Берг Л.С. 1948. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. 4-е изд. Ч. 1. М.; Л.: Академия наук СССР. 465 с.

Зиновьев Е.А. 1988. Хариусы *Thymallus thymallus* (L.) и *Thymallus arcticus* (Pallas) р. Кары // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 281. С. 92–104.

Книжин И.Б. 2011. Разнообразие и таксономическая идентификация хариусов (Thymallus) бассейна реки Енисей // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. Т. 4, № 3. С. 293–300.

Книжин И.Б., Вайс С.Дж., Сушник С. 2006а. Хариусы бассейна озера Байкал (Thymallus, Thymallidae): разнообразие форм и их таксономический статус // Вопр. ихтиологии. Т. 46, № 4. С. 442–459.

Книжин И.Б., Кириллов А.Ф., Вайс С.Дж. 2006б. К вопросу о разнообразии и таксономическом статусе хариусов (Thymallus, Thymallidae) реки Лена // Вопр. ихтиологии. Т. 46, № 2. С. 182–194.

Макоедов А.Н. 1999. Кариология, биохимическая генетика и популяционная фенетика лососевых рыб Сибири и Дальнего Востока. М.: УМК «Психология». 290 с.

Пономарев В.И. 2014. Видовое разнообразие рыбного населения водоемов западных склонов Приполярного и Полярного Урала // Современное состояние биоресурсов внутренних вод. Матер. докл. II Всерос. конф. с междунар. участием (Борок, 6–9 ноября 2014 г.). М.: Полиграф-плюс. Т. 2. С. 464–470.

Световидов А.Н. 1936. Европейско-азиатские хариусы (genus *Thymallus Cuvier*) // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 3. С. 183–301.

Скопец М.Б. 1991. Биологические особенности подвидов сибирского хариуса на Северо-Востоке Азии. II. Аляскинский хариус *Thymallus arcticus signifer* // Вопр. ихтиологии. Т. 31, № 1. С. 46–57.

Скопец М.Б. 1993. Биологические особенности подвидов сибирского хариуса на Северо-Востоке Азии. III. Восточносибирский хариус *Thymallus arcticus pallasi* // Вопр. ихтиологии. Т. 33, № 4. С. 469–473.

Скопец М.Б., Прокопьев Н.М. 1990. Биологические особенности подвидов сибирского хариуса на Северо-Востоке Азии. I. Камчатский хариус *Thymallus arcticus mertensi* // Вопр. ихтиологии. Т. 30, № 4. С. 564–576.

Тугарина П.Я. 1972. Систематическое положение хариуса (род *Thymallus*) бассейна р. Камчатки // Вопр. ихтиологии. Т. 12, № 3. С. 452–463.

Шубин П.Н., Захаров А.Б. 1984. Гибридизация европейского *Thymallus thymallus* (L.) и сибирского хариусов *Thymallus arcticus* (Pallas) в зоне вторичного контакта видов // Вопр. ихтиологии. Т. 24, № 3. С. 502–504.

Balakirev E.S., Romanov N.S., Ayala F.J. 2017. Complete mitochondrial genome of the Kamchatka grayling *Thymallus mertensii* (Salmoniformes, Salmonidae) // Mitochondrial DNA Part A. Vol. 28. Iss. 1. P. 135–136.

Bandelt H.J., Forster P., Röhl A. 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies // Molecular biology and evolution. Vol. 16. Iss. 1. P. 37–48.

Clement M., Snell Q., Walker P., Posada D., Crandall K. 2002. TCS: estimating gene genealogies // Parallel and Distributed Processing Symposium, International Proceedings. Vol. 2. P. 184.

Ivanova N.V., Zemlak T.S., Hanner R.H., Hebert P.D. 2007. Universal primer cocktails for fish DNA barcoding // Molecular Ecology Notes. Vol. 7. Iss. 4. P. 544–548.

Kimura M. 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences // Journal of molecular evolution. Vol. 16. Iss. 2. P. 111–120.

Koskinen M.T., Ranta E., Piironen J., Veselov A., Titov S., Haugen T.O., Nilsson J., Carlstein M., Primmer C.R. 2000. Genetic lineages and postglacial colonization of grayling (*Thymallus thymallus*, Salmonidae) in Europe, as revealed by mitochondrial DNA analyses // Molecular ecology. Vol. 9. Iss. 10. P. 1609–1624.

Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. 2018. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms // Molecular biology and evolution. Vol. 35. Iss. 6. P. 1547–1549.

Ponomareva E., Volkov A., Ponomareva M., Makeenko G., Shubina E. 2019a. European grayling (*Thymallus thymallus*) mtDNA control region haplotypes diversity and postglacial colonization of Russian European North / Front. Mar. Sci. Conference Abstract: XVI European Congress of Ichthyology. doi: 10.3389/conf.fmars.2019.07.00068

Ponomareva E., Volkov A., Ponomareva M., Shubina E. 2019б. Genetic variability of the mtDNA control region and the intron of the nuclear gene tumor necrosis factor alpha in graylings, Thymallus / Front. Mar. Sci. Conference Abstract: XVI European Congress of Ichthyology. doi: 10.3389/conf.fmars.2019.07.00072

Weiss S., Grimm J., Gonçalves D.V., Secci-Petretto G., Englmaier G.K., Baimukanov M., Froufe E. 2020. Comparative genetic analysis of grayling (*Thymallus* spp. Salmonidae) across the paleohydrologically dynamic river drainages of the Altai-Sayan mountain region // Hydrobiologia. Vol. 847. Iss. 13. P. 2823–2844.

Weiss S.J., Gonçalves D.V., Secci-Petretto G., Englmaier G.K., Gomes-Dos-Santos A., Denys G.P., Persat H., Antonov A., Hahn C., Taylor E.B., Froufe E. 2021. Global systematic diversity, range distributions, conservation and taxonomic assessments of graylings (Teleostei: Salmonidae; *Thymallus* spp.) // Organisms Diversity & Evolution. Vol. 21. Iss. 1. P. 25.

УДК 597.553.2:575.17

ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА НЕРКИ *ONCORHYNCHUS NERKA* ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ

Анастасия Михайловна Хрусталева
Институт биологии гена РАН, Москва, Россия, mailfed@mail.ru

Аннотация. По результатам анализа полиморфизма 45 локусов SNP исследована популяционная структура нерки *Oncorhynchus nerka* из водоемов Западной и Юго-Западной Камчатки — бассейнов рек Озерная, Опала, Большая, Большая Воровская. Привлечены как собственные данные, так и данные других исследователей для характеристики генетической дифференциации и подразделенности западнокамчатского комплекса популяций нерки, сделаны выводы о происхождении и формировании данного биокомплекса, реконструированы исторические и современные демографические и генетические процессы, свойственные такой системе.

Ключевые слова: нерка, *Oncorhynchus nerka*, Западная Камчатка, популяционная структура, SNP, генетическая дифференциация

POPULATION STRUCTURE OF SOCKEYE SALMON *ONCORHYNCHUS NERKA* ON THE WEST COAST OF KAMCHATKA

Anastasiya M. Khrustaleva
Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, mailfed@mail.ru

Abstract. Based on the analysis of polymorphism of 45 SNP loci, the population structure of the sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* from the watersheds of Western and South-Western Kamchatka (Ozernaya River, Opala R., Bolshaya R., and Bolshaya Vorovskaya R.) was studied. Both our own data and data of other researchers were used to characterize the genetic differentiation and subdivision of the Western Kamchatka sockeye salmon population complex, some conclusions are drawn about the origin and formation of the biocomplex, historical and modern demographic and genetic processes inherent in such a system are reconstructed.

Keywords: sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, Western Kamchatka, population structure, SNP, genetic differentiation

Юго-Западная Камчатка является одним из важнейших районов воспроизводства нерки на Дальнем Востоке России, а стадо нерки бассейна реки Озерной — самое высокочисленное в Азии. В 2009–2018 гг. (период современной высокой численности) оно обеспечивало в среднем 70,6% суммарного вылова нерки по Камчатке ежегодно (Дубынин, Травин, 2020). Весьма многочисленны также стада, населяющие реки, расположенные к северу от р. Озерной, среди них Опала, Большая, Большая Воровская. Необходимость новых сведений о генетической подразделенности, биокомплексности и структуре популяционных систем нерки Западной Камчатки обусловлена важностью таких данных для оценки запаса, прогноза его динамики и регулирования промысла данного вида в условиях увеличивающейся неопределенности в связи с меняющимися климатическими условиями.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал собирали в период с 2003 по 2008 гг. в реках Западной и Юго-Западной Камчатки: р. Озерная (n = 90), р. Опала (n = 50), р. Большая (2003 г. n = 91, 2004 г. n = 90), р. Большая Воровская (n = 51). Отлов производителей нерки проводили речным закидным неводом на расстоянии 3–15 км от устья в течение пика хода поздней (летней) нерки. Лов молоди осуществляли мальковым неводом в течение ее массового ската в верховье р. Плотникова, в 10 км от оз. Начикинского (n = 39), а также в нижнем течении р. Быстрой при впадении ее в основное русло р. Большой, в 10 км от пос. Карымай (n = 33).

Исследовали полиморфизм 45 описанных ранее локусов SNP, три из которых (One_CO1, One_Cytb_17, One_Cytb_26) локализованы в митохондриальном геноме, остальные — преимущественно в ядерных генах, диспергированных повторах и EST-последовательностях (Habicht et al., 2010). 42 из них были полиморфны во всех выборках. Локусы MHC2_190v2 и MHC2_251v2 были объединены в один MHC2, с четырьмя аллельными вариантами — гаплотипами. Митохондриальные SNP также объединили в один локус *mtDNA*, причем из возможных восьми гаплотипических вариантов в проанализированных выборках обнаружено лишь три — CGG, TGA и CAG, первые два из которых были массовыми, а третий — минорный, обнаружен в выборках из рек Большая и Озерная.

В работе также использованы открытые данные д-ра К. Хабичта с соавторами (Habicht et al., 2010, http://www.tandfonline.com/doi/suppl/10.1577/T09-149.1?scroll=top) по частотам аллелей тех же локусов SNP в выборках нерки Юго-Западной Камчатки.

Вероятностные тесты на генную и генотипическую дифференциацию и парные сравнения выборок по частотам аллелей/генотипов осуществляли в программе GENEPOP 3.4 (Raymond, Rousset, 1995). Анализ главных компонент (principal component analysis, PCA) проводили с помощью R библиотек factoextra (https://rpkgs.datanovia.com/factoextra/index.html) и FactoMineR (Lê et al., 2008), дискриминантный анализ главных компонент (discriminant analysis of principal components, DAPC) выполняли с использованием R пакета adegenet 1.3-1 (Jombart, Ahmed, 2011). Структуру популяции оценивали de novo, предварительно определив количество кластеров в объединенном массиве данных с помощью итеративного анализа k-средних. Оптимальное число кластеров (K), или генетических групп, часто определяется как число K с наименьшими значениями байесовского критерия (BIC) среди найденных кластеров, однако мы руководствовались правилом «каменистой осыпи» (выбирали на кривой зависимости BIC от числа K точку, средняя скорость изменения функции после прохождения которой заметно снижается). Для наших данных число кластеров было принято равным двум для полного набора локусов и трем после исключения локуса *mtDNK*. Затем в процедуре DAPC использовали оптимальное количество групп, определенное вышеописанным способом, и 30 первых выделенных главных компонент. Далее графически визуализировали вероятности отнесения каждого генотипа к тому или иному кластеру.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Между выборками нерки из водоемов юго-западного побережья Камчатки прослеживалась значимая гетерогенность аллельных и генотипических частот, причем значимо отличались от остальных лишь выборки производителей р. Озерной и молоди из верховья р. Плотникова. Не обнаружено гетерогенности по частотам аллелей и генотипов локусов ОНП между выборками производителей из устьев рек Большая, Большая Воровская и Опала. В популяции нерки бассейна р. Большой достоверных различий не выявлено между производителями, выловленными в устье реки в 2003 и 2004 гг., а также между ними и молодью из нижнего течения р. Быстрой.

В пространстве первых двух главных компонент выборки речной (реофильной) нерки из рек Большая, Опала, Большая Воровская и Быстрая сформировали общий кластер, от которого равноудалены выборки озерной (лимнофильной) нерки из оз. Курильского (бассейн р. Озерной) и катадромной молоди из верховья р. Плотникова (преимущественно представленной покатниками из оз. Начикинского) (рис. 1А). При добавлении выборок из бассейна оз. Курильского (данные Хабичта с соавторами (Habicht et al., 2010)) общая картина кластеризации принципиально не меняется, а выборки курильской нерки обособляются в два лежащих рядом кластера: в центре первого сгруппированы выборки из притоков (р. Этамынк, р. Кирушутк, р. Выченкия), их окружают литоральные выборки из южной части озера (бух. Гаврюшка и бух. Хакыцин); второй сформирован двумя литоральными выборками из северной и восточной частей озера (бух. Северная Дальняя и бух. Оладочная) и смешанной выборкой из р. Озерной (рис. 1Б). Ранее по результатам анализа полиморфизма микросателлитных локусов ДНК выявлено генетическое своеобразие ранней речной формы, воспроизводящейся в крупных притоках оз. Курильского (рр. Кирушутк, Выченкия, Этамынк и Гаврюшка) (Пильганчук, Варнавская, 2010; Пильганчук и др., 2012; Пильганчук и др., 2014). Структура выявленных нами кластеров коррелирует с данными по времени заполнения нерестилищ в бассейне оз. Курильского (Егорова, 1968): первые производители появляются на гнездах в северной части озера и в р. Выченкия (нерест в этих районах происходит с конца июля по конец ноября), несколько позже, в середине августа, начинается нерест в южной части озера и в р. Этамынк (и продолжается здесь до конца января). Вполне возможно, что различные сроки нереста нерки на отдельных северных и южных литоральных нерестилищах, а также в притоках озера, связаны с подразделенностью данного стада на более или менее крупные темпораль-

ные, экологические и/или географические группировки. Очевидно, что этот вопрос требует дальнейшей более детальной проработки.

С целью классификации особей и исследования подразделенности нерки юго-западного побережья Камчатки был проведен DAPC-анализ. При включении в анализ всех полиморфных локусов оптимальное число кластеров определено как K = 2 (рис. 2А, Б). Однако единственным локусом, вклад которого был значим при таком делении на кластеры, оказался *mtDNA*. Подразделенность особей на две группы происходит главным образом вследствие существования двух филогенетических линий мтДНК нерки на азиатской части ареала в связи с особенностями ее палеорасселения и формирования здесь зоны вторичного контакта. Причем на Западной Камчатке центральные гаплотипы обеих линий более или менее равномерно распределены во всех популяциях (Khrustaleva, 2016). После исключения локуса *mtDNA* было выделено три кластера (рис. 2В), лимнофильная нерка оз. Курильского и оз. Начикинского представлена преимущественно вторым и третьим из них (рис. 2Г). Среди проанализированных нами выборок выделяется также выборка молоди из р. Быстрой, которая практически полностью отнесена к первому кластеру. Так как в бассейне р. Быстрой нет крупных озер, подходящих для воспроизводства и нагула молоди данного вида, то всю нерку этой реки можно отнести к реофильной форме. Вполне вероятно, такое деление на кластеры соответствует двум жизненным стратегиям нерки: экологической диверсификации на две генеративные формы — лимнофильную и реофильную, различающиеся в частности не только типами нерестовых биотопов, но и плодовитостью, продолжительностью пресноводного периода жизни и спектром питания молоди (Смирнов, 1975).

Низкий уровень дифференциации западно-камчатских популяций нерки наиболее вероятно объясняется общностью их происхождения. Согласно распространенным представлениям, большинство популяций азиатской нерки по историческим меркам относительно молодые, и их возраст не превышает 10–12 тыс. лет (Черешнев, 1998; Брыков и др., 2005), так как ее современный ареал в значительной степени совпадает с предполагаемой областью последнего Висконсинского оледенения (максимум ~26,5–19 тыс. лет назад, дегляциация ~ 16 900–12 680 тыс. лет назад) в Северной Пацифике (Брайцева, Евтеева, 1968; Брайцева и др., 1968; Величко, Фаустова, 1989). Ранее нами по результатам анализа изменчивости контроль-

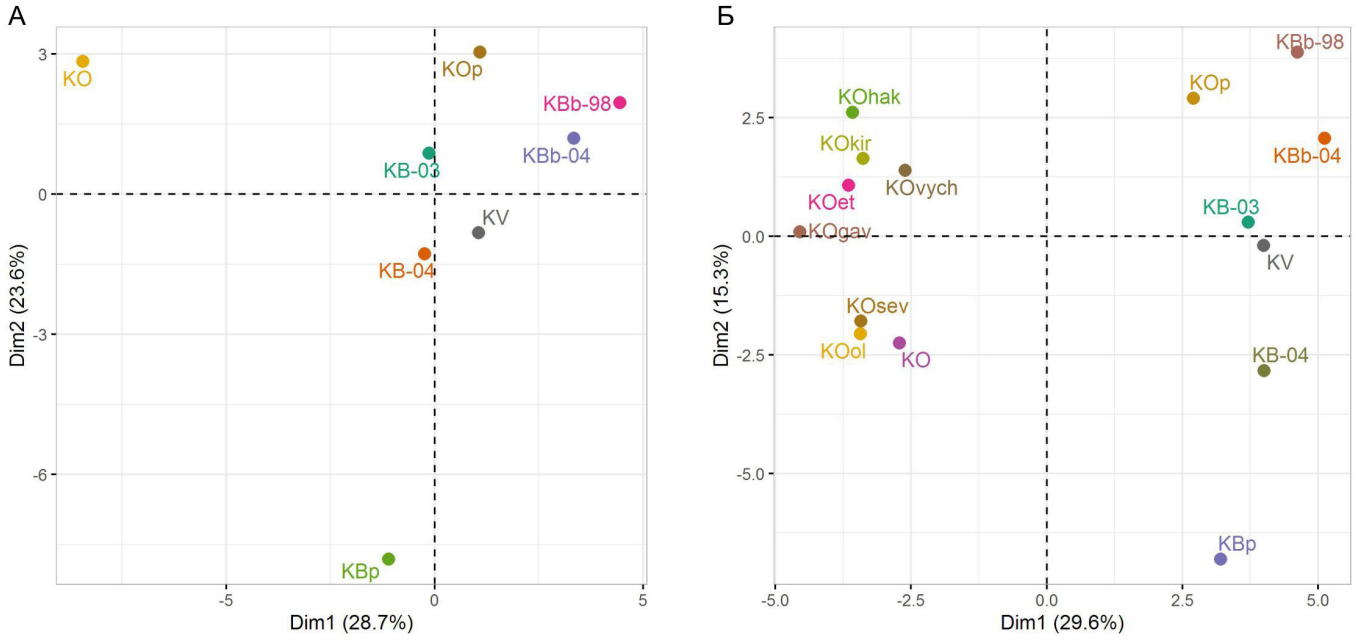

Рис. 1. Ординация выборок нерки Юго-Западной Камчатки в пространстве главных компонент (Dim1 и Dim2), метод PCA. А — выборки: KV — р. Большая Воровская, KOp — р. Опала, KB-03 — р. Большая, 2003 г., KB-04 — р. Большая, 2004 г., KBb-98 — р. Быстрая (бассейн р. Большой), 1998 г., KBb-04 — р. Быстрая (молодь), 2004 г., KBp — р. Плотникова (бассейн р. Большой), KO — р. Озерная; Б — те же и привлеченные данные Хабичта с соавторами (Habicht et al., 2010) по нерке бассейна оз. Курильского: KOet — р. Этамынк, KOgav — бух. Гаврюшка, KOhak — бух. Хакыцин, KOsev — бух. Северная Дальняя, KOkir — р. Кирушутк, KOvych — р. Выченкия, KOol — бух. Оладочная
Fig. 1. Ordination of samples of sockeye salmon from South-Western Kamchatka in the space of principal components (Dim1 and Dim2), PCA method. A – samples: KV – Bolshaya Vorovskaya R., KOp – Opala R., KB-03 – Bolshaya R., 2003, KB-04 – Bolshaya R., 2004, KBb-98 – Bystraya R. (the Bolshaya R. basin), 1998, KBb-04 – Bystraya R. (juvenile), 2004, KBp – Plotnikova R. (the Bolshaya R. basin), KO – Ozernaya R.; (Б) the same and drawn data from Habicht et al. (Habicht et al., 2010) on sockeye salmon from the Kuril Lake: KOet – Etamynk R., KOgav – Gavryushka Bay, KHak – Khakytsin Bay, KOsev – Severnaya Dalnaya Bay, KOkir – Kirushutk R., KOvych – Vychenkiya R., KOol – Oladochnaya Bay

ного региона *mtDNA* было установлено, что вся азиатская часть ареала нерки является зоной вторичного контакта, возникшей в результате взрывной экспансии данного вида в период Голоценовой трансгрессии и колонизации большинства водоемов п-ова Камчатка двумя генетическими линиями нерки, имеющими разное происхождение (т. е. выходцами из разных рефугиумов, существовавших, вероятно, в районе Берингии и/или на Американском или Евразийском континенте) (Khrustaleva et al., 2020). В течение верхнечетвертичных ледниковых максимумов значительная часть Западнокамчатской низменности была покрыта льдом (Гросвальд, 2009). Не покрывались ледниками лишь верхние участки некоторых рек центральной Камчатской депрессии (р. Быстрая, бассейн р. Большой) и южной части Западно-Камчатской низменности (р. Плотникова, бассейн р. Большой) (Брайцева, Евтеева, 1968), где могли сохраниться «реликтовые» популяции нерки, существовавшие на этой территории с доледниковой эпохи. Однако следов таких популяций нам обнаружить пока не удалось, для этого необходимо существенно расширить масштаб охвата выборками данной и соседних с ней озерно-речных систем. Оз. Курильское в бассейне р. Озерной, где воспроизводится крупнейшее в Азии стадо нерки, геологически более молодое, образование озерной котловины и формирование его современного рельефа шло в позднеплейстоценовую эпоху в результате активной тектонической деятельности — вулканического взрыва и опускания части озерной впадины (Бугаев и др., 2009). Таким образом, наиболее вероятным сценарием послеледникового расселения вида на данной территории могла быть колонизация озерно-речных систем юго-запада полуострова адвентивными популяциями и последующее формирование высокочисленного стада р. Озерной вследствие благоприятных условий для размножения и нагула молоди в бассейне оз. Курильского. Это подтверждается результатами дискриминантного анализа главных компонент (DAPC), согласно которым все популяции данного комплекса имели «гибридное» происхождение, т. е. сформировались в результате

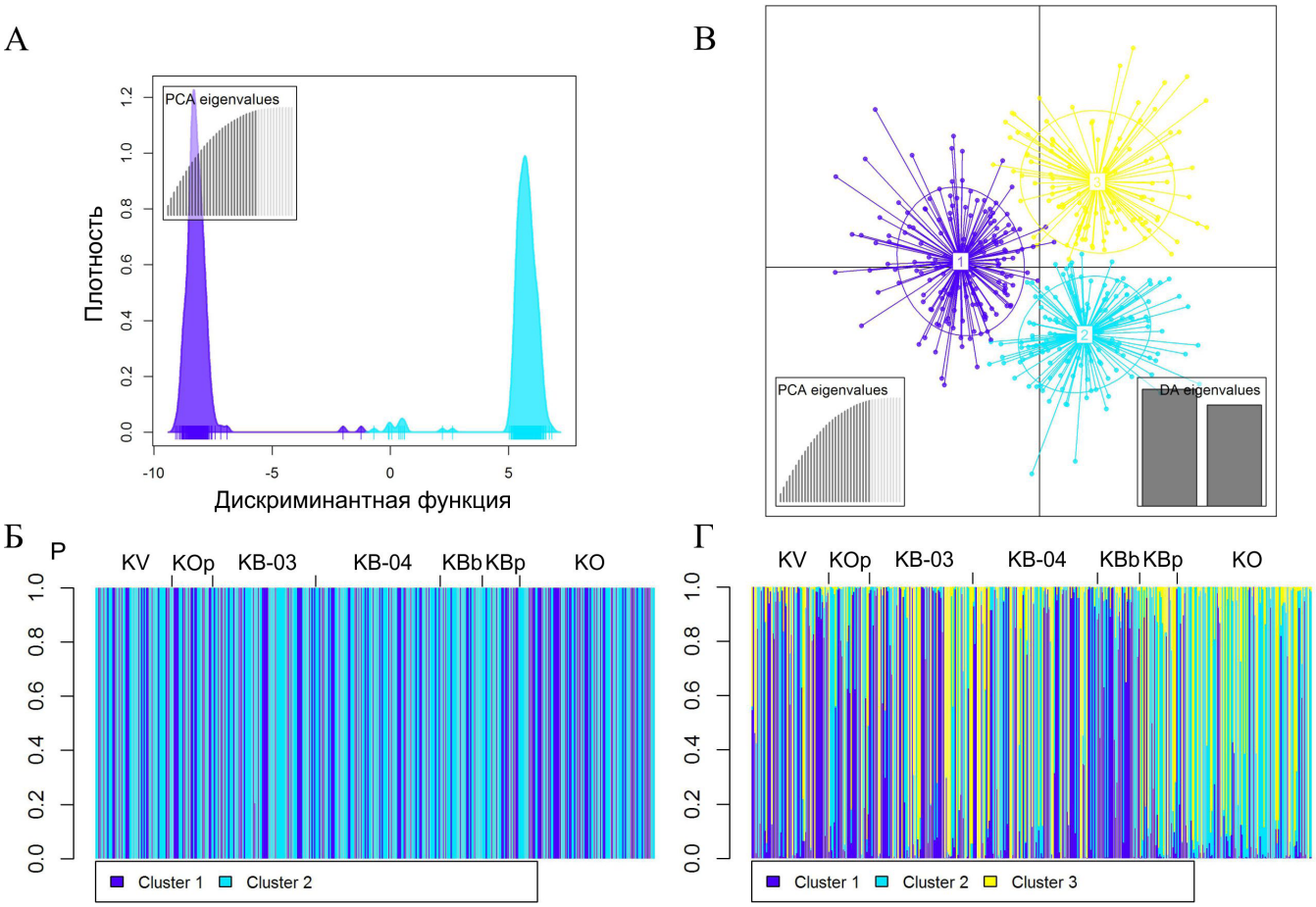

Рис. 2. Разделение групп индивидов в пространстве первой дискриминантной функции по всем 39 локусам (А) и ординация кластеров, выделенных методом k-средних, в пространстве двух первых дискриминантных функций (В) по 38 локусам (за исключением mtDNA) с помощью DAPC; (Б) и (Г) — вероятности отнесения индивидов к выделенным кластерам (P). Обозначения выборок как на рис. 1А

Fig. 2. The outlining of the groups of individuals in the space of the first discriminant function for all 39 loci (A) and the ordination of clusters, identified by the k-means method, in the space of the two first discriminant functions (B) for 38 loci (excluding mtDNA) using DAPC; (Б) and (Г) are the probabilities of assigning individuals to outlined clusters (P). Designations of the samples as in fig. 1A

генетического смешения как минимум двух предковых популяций.

Кроме того, генетическое единообразие нерки Юго-Западной Камчатки может объясняться умеренным потоком генов между соседними речными бассейнами. В пользу данного предположения выступает факт, что все расположенные выше устья р. Озерной речные бассейны не имеют в системе притоков крупных озер, подходящих для размножения данного вида, и населены преимущественно реофильной неркой. Последняя характеризуется более высоким генетическим разнообразием, которое, вероятно, поддерживается за счет ее большей миграционной активности и более низкого хомминга (Beacham et al., 2006).

Обращает на себя внимание относительно более высокая степень дивергенции между неркой р. Озерной и другими воспроизводящимися в данном районе, в том числе и в непосредственном соседстве с ней, речными популяциями. Основным нерестово-нагульным водоемом в бассейне р. Озерной является оз. Курильское, где главным образом и сосредоточено воспроизводство крупнейшего на азиатском побережье стада нерки. Таким образом, всю нерку этой реки можно отнести к озерной форме, нерест нерки в бассейне озера чрезвычайно растянут по времени и происходит как на литорали озера, так и в реках и ручьях, в него впадающих. Экотипическое многообразие и экологические особенности данной популяции, связанные с длительным пресноводным нагулом молоди в озере и особенностями катадромной миграции и эстуарного периода, с высокой долей вероятности дают почву для возникновения специфических локальных адаптаций и, соответственно, генетических отличий нерки р. Озерной от нерки других рек Юго-Западной Камчатки. Вероятно, данная популяция сохраняет свои генетические особенности благодаря высокой численности, так как при высокой Ne дрейфом и потоком генов из соседних речных бассейнов можно практически пренебречь, при этом основные миграционные потоки направлены из р. Озерной в соседние речные бассейны, а не наоборот, что, в свою очередь, приводит к выравниванию генных частот в данных популяциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общность происхождения, наличие хоть и незначительного, но устойчивого потока генов, географическая близость, сходство абиотических условий раннеморского нагула, климатических факторов в пресноводном периоде и пр. дают нам все основания приобщить популяции Юго-Запада Камчатки к единому региональному комплексу (биокомплексности), способному реагировать как единая буферная система на внешние воздействия. Разнообразие жизненных стратегий, экотипическое многообразие и широкий спектр локальных адаптаций в популяциях отдельных озерно-речных систем обеспечивают его долгосрочную стабильность. Тем не менее рациональный промысел должен быть нацелен на устойчивую эксплуатацию таких систем, в т. ч. на сохранение разнообразия и поддержание численности каждого структурного компонента биокомплекса, так как снижение эффективной численности отдельных популяций, сезонно-экологических рас, форм или отдельных экотипов может привести к тому, что эффекты генетического дрейфа смогут перевесить эффекты отбора, что приведет к элиминации отдельных компонентов, снижению разнообразия и неустойчивости системы в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Брайцева О.А., Евтеева И.С. 1968. Климатические колебания и плейстоценовые оледенения Камчатки // Геология и геофизика. № 5. С. 16–22.

Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Евтеева И.С., Лупикива Е.Г. 1968. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. М.: Наука. 245 с.

Брыков Вл.А., Полякова Н.Е., Подлесных А.В., Голубь Е.В., Голубь А.П., Жданова О.Л. 2005. Влияние биотопов размножения на генетическую дифференциацию популяций нерки (*Oncorhynchus nerka*) // Генетика. Т. 41, № 5. С. 635–645.

Бугаев В.Ф., Дубынин В.А., Маслов А.В. 2009. Озерновская нерка (численность, промысел, проблемы). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 156 с.

Величко А.А., Фаустова М.А. 1989. Реконструкция последнего позднеплейстоценового оледенения северного полушария (18–20 тыс. лет назад) // Докл. АН СССР. Т. 309. № 6. С. 1465–1468.

Гросвальд М.Г. 2009. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Матер. гляциологических исследований. Вып. 106. 152 с.

Дубынин В.А., Травин С.А. 2020. Количественный учет смолтов и использование данных учета при перспективном прогнозировании подходов половозрелой нерки (*Oncorhynchus nerka*) стада р. Озерной (Западная Камчатка) в 2004–2018 гг // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 58. С. 22–41.

Егорова Т.В. 1968. Основные закономерности, определяющие динамику численности красной *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) в бассейне р. Озерной: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток: ТИНРО. 22 с.

Пильганчук О.А., Варнавская Н.В. 2010. Изменчивость микросаттелитных локусов нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) оз. Курильское // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 17. С. 92–96.

Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Дубынин В.А., Шевляков Е.А., Нигматулина Е.А., Косицына А.И., Сараванский О.Н. 2012. Предварительные результаты оценки генетической гетерогенности нерестового хода нерки р. Озерная // Матер. Всерос. науч. конф. «Водные биологические ресурсы северной части Тихого океана: состояние, мониторинг, управление». Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 431–438.

Пильганчук О.А., Шпигальская Н.Ю., Дубинин В.А, *Сараванский О.Н., Муравская У.О., Варнавская Н.В.* 2014. Идентификация

ранней речной формы нерки в бассейне р. Озерной по микросателлитным локусам // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 34. С. 62–71.

Смирнов А.И. 1975. Биология, размножение и развитие тихоокеанских лососей. М.: МГУ. 335 с.

Черешнев И.А. 1998. Биогеография пресноводных рыб Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука. 130 с.

Beacham T.D., McIntosh B., MacConnachie C., Miller K.M., Withler R.E., Varnavskaya N.V. 2006. Pacific Rim population structure of sockeye salmon as determined from microsatellite analysis // Transactions of the American Fisheries Society. Vol. 135. P. 174–187.

Habicht C., Seeb L.W., Myers K.W., Farley E.V., Seeb J.E. 2010. Summer-Fall Distribution of Stocks of Immature Sockeye Salmon in the Bering Sea as Revealed by Single-Nucleotide Polymorphisms // Trans. Amer. Fish. Soc. Vol. 139 (4). P. 1171–1191.

Jombart T., Ahmed I. 2011. Adegenet 1.3-1: new tools for the analysis of genome-wide SNP data // Bioinformatics. Vol. 27 (21). P. 3070–3071.

Khrustaleva A.M. 2016. The Phylogeography of the Asian Sockeye Salmon *Oncorhynchus nerka*, Inferred from the Data on the Variability of Mitochondrial SNP Loci: Analysis of Scenarios for Post-Glacial Expansion of the Species over the Asian Coast of the Pacific Ocean // Russian Journal of Marine Biology. Vol. 42 (7). P. 517–526.

Khrustaleva A.M., Ponomareva E.V., Ponomareva M.V., *Shubina E.A., Pilganchuk O.A.* 2020. Phylogeography of Asian sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) based on analysis of mtDNA control region polymorphism // J. Appl. Ichthyol. Vol. 36 (5). P. 643–654.

Lê S., Josse J., Husson F. 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis // Journal of Statistical Software. Vol. 25 (1). P. 1–18.

Raymond M., Rousset F. 1995. GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism // J. Heredity. Vol. 86. P. 248–249.

УДК 595.371(265.55)

БОКОПЛАВЫ (AMPHIPODA, GAMMARIDEA) МЯГКИХ ГРУНТОВ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В 2021 Г.

Иван Алексеевич Блохин

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, ivblokhin@gmail.com

Аннотация. В Авачинской губе в 2021 г. выявлено 37 видов непромысловых ракообразных, 25 — это амфиподы. Максимальные значения биомассы и плотности поселения отмечены ближе к выходу из Авачинской губы на песчаном грунте. Средняя плотность поселения гаммарид (Gammaridea) составила 297 экз./м^2 в июне и 67 экз./м^2 в сентябре; средняя биомасса — 1,09 г/м^2 и 0,155 г/м^2. Для района исследований по индексам плотности выделены доминирующие виды и таксоценозы гаммарид. Показана сезонная динамика видового состава этих таксоценов и определены руководящие, характерные и случайные виды.

Ключевые слова*:* макрозообентос, амфиподы, гаммариды, распределение, количественные показатели, индекс плотности

AMPHIPODS (GAMMARIDEA) OF SOFT SUBSTRATES OF AVACHA BAY (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA) IN 2021

Ivan A. Blokhin

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ivblokhin@gmail.com

Abstract. In the Avacha Bay in 2021, 37 species of non-commercial crustaceans were identified, including 25 amphipods. The maximum biomass and density of settlements were revealed on sandy substrates rater in visinity of the exit from the Avacha Bay. Average density of the Gammaridea cluster was 297 ind./m^2 in June and 67 ind./m^2 in September, the average biomass was respectively 1.09 g/m^2 and 0.155 g/m^2. Dominant species and communities of the family were figured out for the research area by density indices. Seasonal dynamics of species composition for these communities is demonstrated and the major, typical and occasional species are identified.

Keywords: macrozoobenthos, amphipods, gammarids, distribution, quantitative indicators, density index

В 2021 году лабораторией рыбохозяйственной экологии Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО) были продолжены работы по мониторингу экологического состояния Авачинской губы. Одним из этапов этих исследований было изучение фауны макрозообентоса мягких грунтов (Блохин и др., 2015, 2018; Морозов, Блохин, 2019; Блохин, Морозов, 2020а, 2020б, 2021; Блохин, 2021).

Цель настоящей работы — показать видовой состав и распределение сообществ бокоплавов (Amphipoda, Gammaridea) мягких грунтов сублиторали Авачинской губы, определить роль отдельных видов в пределах сообществ этой группы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В июне и сентябре 2021 г. выполнены съемки бентоса по схеме учетных станций (рис. 1а). Материал собирали по стандартным гидробиологическим методикам (Нейман, 1983; Фролова, 2008) с применением дночерпателя «Океан-50» с площадью раскрытия 0,25 м^2. Визуальную оценку и описание донных отложений, собранных со дна бухты, проводили по классификации А.С. Константинова (Константинов, 1972) (рис. 1б).

Определение видового состава бентосных организмов и их количественную оценку проводили в лабораторных условиях. Найденные организмы сортировали по группам и далее определяли до вида, также для каждой пробы производили взвешивание и подсчет организмов с дальнейшим пересчетом на 1 м^2 поверхности дна.

Уровень доминирования видов оценивали при помощи индекса плотности поселений Броцкой–Зенкевича $\sqrt{BP}$, где B — средняя биомасса вида, г; P — встречаемость вида (Броцкая, Зенкевич, 1939; Шитиков и др., 2003). Доминантами считали виды, значение индекса для которых было выше среднего значения.

Также пользуясь видоизмененным индексом плотности $\sqrt{BN}$, где B — средняя биомасса вида, г; N — плотность поселения вида на станции; определяли роль видов гаммарид в пределах таксоценозов: руководящие — виды с максимальным индексом плотности, характерные — индекс плотности в 2–3 раза меньше максимального для этой станции, случайные — индекс плотности меньше в 3 и более раза. Таксоцен называли по руководящему виду или видам, если в числе руководящих оказывалось два вида. Карты распределения составляли с использованием программы Surfer (Golden Software, Inc.), анализ данных, расчеты индексов плотности и построение графиков выполняли в программе Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пробах макрозообентоса в 2021 г. нами идентифицировано 37 видов непромысловых ракообразных; 25 из них отнесены к амфиподам (Amphipoda, Gammaridea), 7 — к кумовым ракам (Cumacea), 5 — к декаподам (Decapoda) (табл. 1).

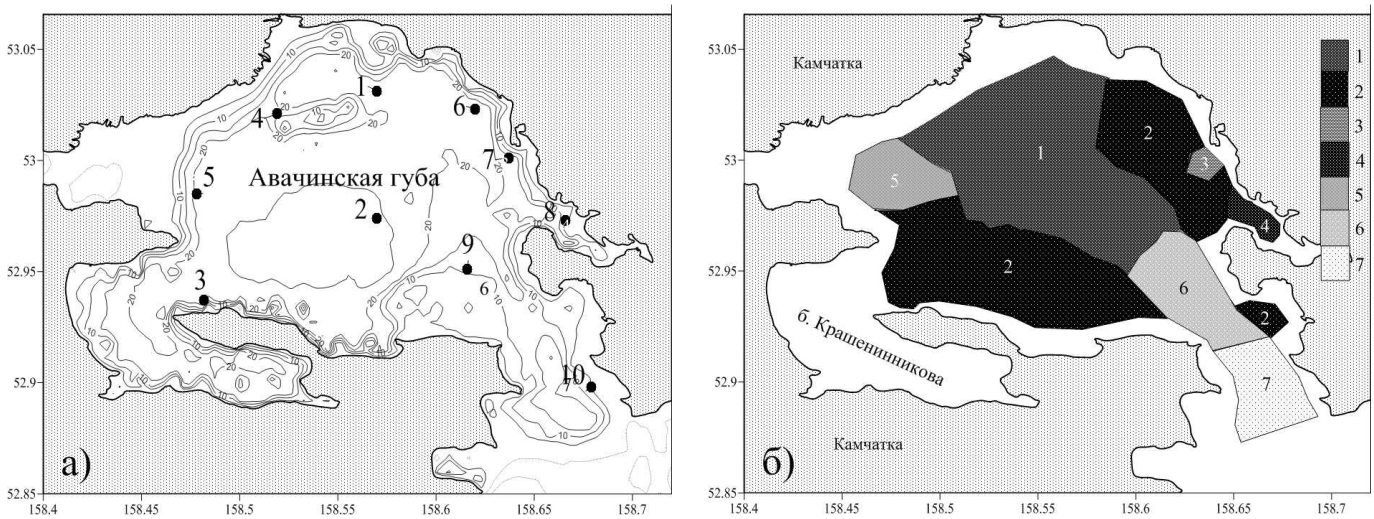

Рис. 1. Карта-схема расположения мониторинговых станций с обозначением изобат. 1–10 — номера станций (а); приблизительная карта-схема грунтов глубоководной части Авачинской губы (б). На рис. 1б: 1 — сероводородный ил; 2 — черный ил; 3 — черный ил, шлак; 4 — черный ил, ракуша; 5 — ил, илистый песок; 6 — мелкий илистый песок; 7 — песок

Fig. 1. The schematic map of the distribution of monitoring stations with marking isobats; 1–10 are the numbers of the stations (a); approximate schematic map of substrates in the deep part of Avacha Bay (б): 1 – hydrosulphuric silt; 2 – black silt; 3 – black silt, slag; 4 – black silt, shells; 5 – silt, silty sand; 6 – small silty sand; 7 – sand

Таблица 1. Видовой состав непромысловых ракообразных в пробах макрозообентоса в 2021 г.
Table 1. Species composition of non-commercial crustaceans in macrozoobenthos samples in 2021

№ п/п	Таксон	2021 июнь	2021 сентябрь	№ п/п	Таксон	2021 июнь	2021 сентябрь
	Amphipoda			20	*Ischyrocerus anguipes*	+	+
1	*Orchomenella minuta*	+	+	21	*Ischyrocerus commensalis*	+	+
2	Lysianassidea gen. sp.		+	22	*Ischyrocerus* sp.	+	+
3	*Eohaustorius eous*	+	+	23	*Crassicorophium crassicorne*	+	+
4	*Paraphoxus simplex*	+	+	24	Gammaridea fam. sp.	+	+
5	*Grandifoxus longirostris*	+	+	25	Caprellidea fam. sp.	+	
6	*Grandifoxus robustus*		+		**Cumacea**		
7	Phoxocephalidae gen. sp.		+	26	*Diastylis alaskensis*	+	+
8	Stenothoidae gen. sp.	+		27	*Diastylopsis davsoni calmani*	+	+
9	*Rastroculodes longirostris*	+		28	*Lampros affinis*	+	
10	*Aceroides* sp.	+		29	*Lampros multifasciata*		+
11	*Aceroides latipes*	+		30	*Eudorellopsis deformis*		+
12	Oedicerothidae gen. sp.		+	31	*Eudorella* sp.		+
13	*Protomedeia fasciata*	+	+	32	Cumacea fam. sp.	+	+
14	*Protomedeia grandimana*	+	+		**Decapoda**		
15	*Protomedeia* sp.	+	+	33	*Chionoecetes bairdi*	+	
16	*Photis* sp.	+		34	Mysida fam. sp.		+
17	*Pleusymtes uncigera*	+	+	35	*Pagurus* sp.		+
18	*Melita* sp.		+	36	*Hyas* sp.		+
19	*Nototropis collingi*	+		37	*Spirontocaris* sp.		+

В июне 2021 г. средняя плотность поселения и биомасса бентосных организмов составили 868,8 экз./м^2 и 441,18 г/м^2, а в сентябре — 544,8 экз./м^2 и 581,29 г/м^2 соответственно. Среди непромысловых ракообразных амфиподы являлись доминантами по плотности поселения, по биомассе лидирующие позиции занимали декаподы, в частности благодаря поимке нескольких крупных раков-отшельников *Pagurus* sp. (рис. 2).

В весеннее время бокоплавы были встречены практически на всех станциях, кроме ст. 2; максимальные численность и биомасса амфипод были зафиксированы на ст. 9 (1044 экз./м^2 и 3,56 г/м^2); также на этой станции было обнаружено максимальное количество видов амфипод — 11. Далее, по убыванию биомассы, идут станции 10 и 4: 1,62 г/м^2, 1,52 г/м^2 соответственно (рис. 3А, Б; 3В, Г).

Осенью 2021 года в Авачинской губе были зафиксированы одни из самых низких значений плотности поселения и биомассы амфипод за период с 2014 по 2021 год.

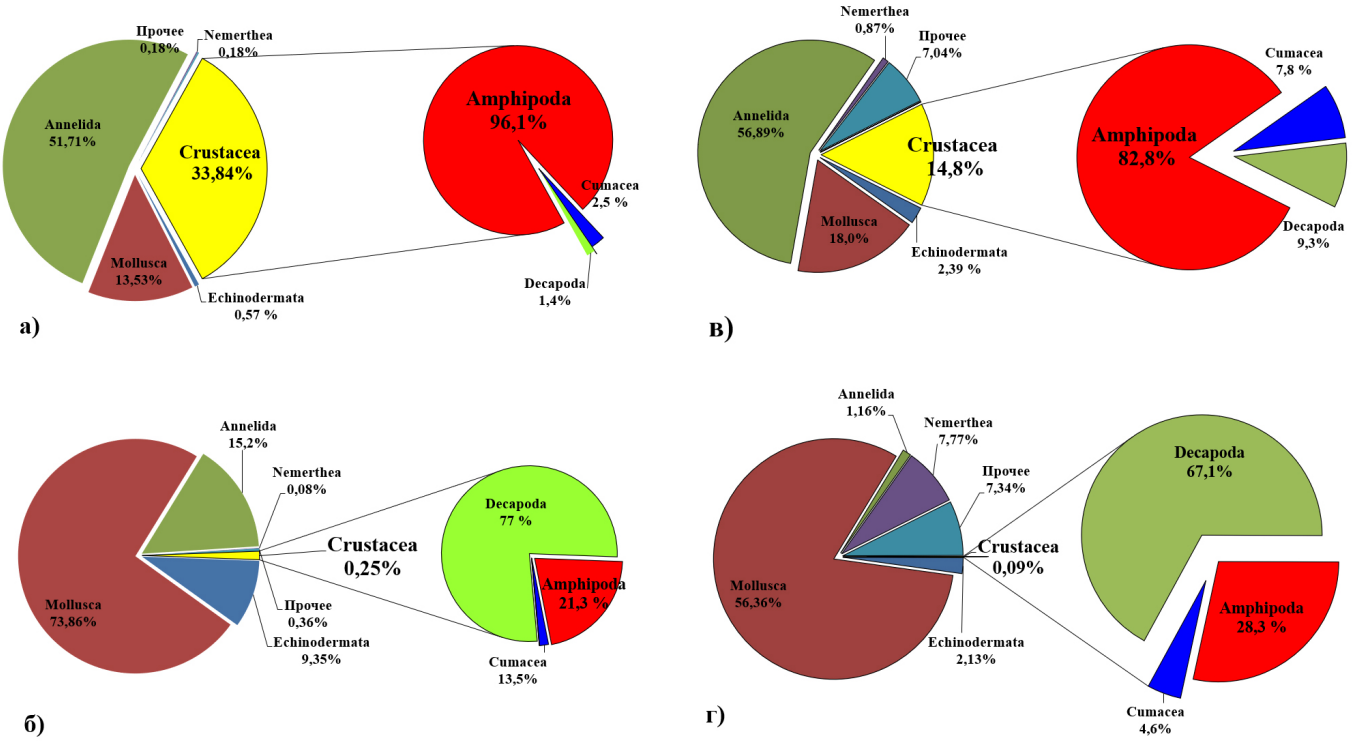

Рис. 2. Доля непромысловых ракообразных в общем дночерпательном макрозообентосе в 2021 г.: средняя плотность поселения организмов макрозообентоса по группам в июне (а) и в сентябре (в) 2021 г.; средняя биомасса организмов макрозообентоса по группам в июне (б) и в сентябре (г) 2021 г.
Fig. 2. The part of none commercial crustaceans in the total sample of bottom macrozoobenthos in 2021: average density of macrozoobenthos settlements by groups in June (a) and September (в) in 2021; average biomass of macrozoobenthos by groups in June (б) and September (г) in 2021

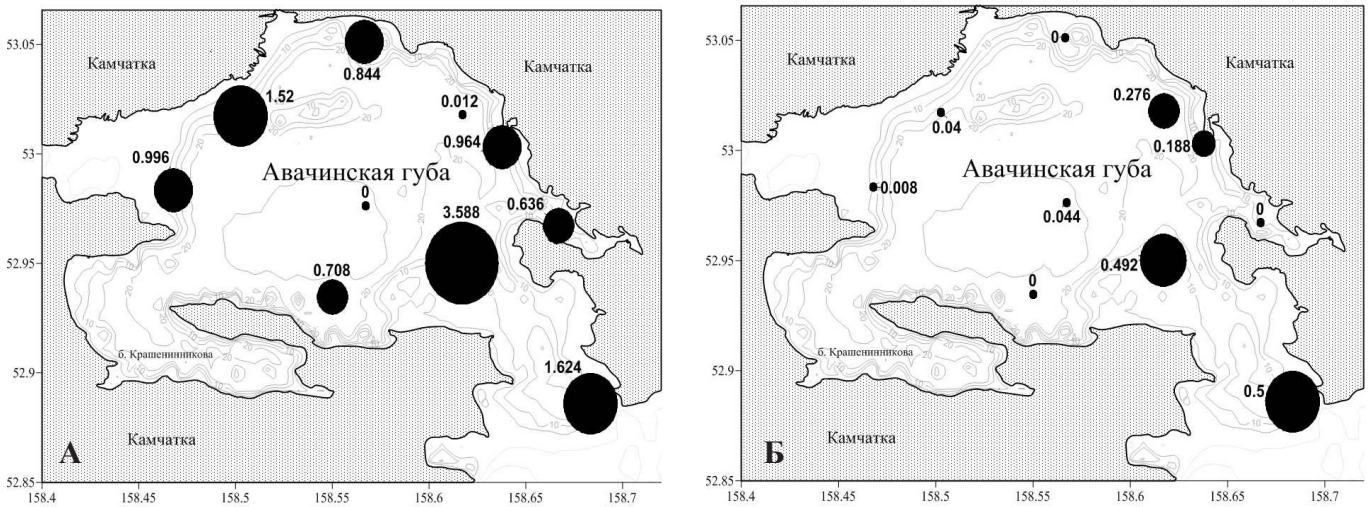

Рис. 3А, Б. Карты-схемы распределения биомассы и плотности поселения амфипод в акватории Авачинской губы в 2021 г. А) Биомасса, июнь, г/м^2; Б) биомасса, сентябрь, г/м^2
Fig. 3А, Б. The schematic map of the distribution of amphypod biomass and density in Avacha Bay in 2021. A) Biomass in June, g/m^2; Б) Biomass in September, g/m^2

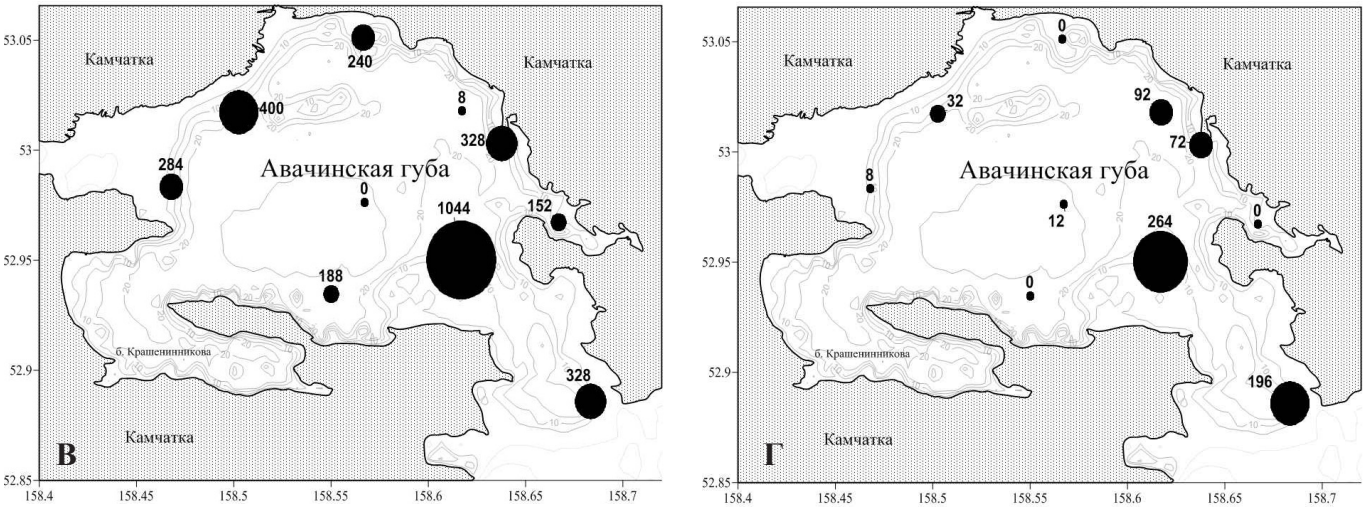

Рис. 3В, Г. Карты-схемы распределения биомассы и плотности поселения амфипод в акватории Авачинской губы в 2021 г. В) плотность поселения, июнь, экз./м^2; Г) плотность поселения, сентябрь, экз./м^2
Fig. 3B, Г. The schematic map of the distribution of amphypod biomass and density in Avacha Bay in 2021. B) Settlement density in June, ind./m^2; Г) Settlement density in September, ind./m^2

Максимальные значения плотности поселения и биомассы амфипод зафиксированы на станциях с мелко-илисто-песчаными и песчаными грунтами — 9 и 10. На этих станциях плотность поселения составила 264 экз./м^2 и 192 экз./м^2 соответственно при биомассе 0,50 г/м^2 и 0,49 г/м^2 (рис. 3).

Средняя плотность поселения амфипод в Авачинской губе составила 297,2 ± 93,01 экз./м^2 весной и 67,6 ± 29,31 экз./м^2 осенью. Биомасса бокоплавов, по сравнению с другими группами организмов макрозообентоса, невелика (рис. 2) и в среднем составляла 1,09 ± 0,32 г/м^2 весной и 0,16 ± 0,064 г/м^2 осенью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из величин индекса Броцкой–Зенкевича, в июне 2021 года в Авачинской губе выделены следующие доминанты: *Orchomenella minuta, Protomedeia fasciata, Ischyrocerus commensalis, Ischyrocerus anguipes, Paraphoxus simplex,* а также не определенные до вида Caprellidea fam. sp. и Gammaridea fam. sp. (рис. 4а). В сентябре 2021 года в макрозообентосе исследуемого района доминировали следующие виды амфипод: *P. fasciata, Crassicorophium crassicorne, Grandifoxus longirostris,* а также не определенные до вида *Protomedeia* sp., Phoxocephalidae gen. sp. и Gammaridea fam. sp. (рис. 4б).

На основании индексов плотности выявлены сообщества бокоплавов: июнь 2021 г. — 4 сообщества, сентябрь 2021 г. — 3 (табл. 2).

Распределение сообществ бокоплавов в Авачинской губе имеет сезонные отличия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Блохин И.А. 2021. Распределение макробентоса мягких грунтов Авачинской губы в июне 2021 г. по результатам дночерпательных исследований / Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер XXII Междунар. науч. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 108–113.

Блохин И.А., Архипова Е.А., Данилин Д.Д. 2015. Количественные характеристики основных групп бентоса мягких грунтов Авачинской губы (Восточная Камчатка) // Тез. докл. XVI Междунар.

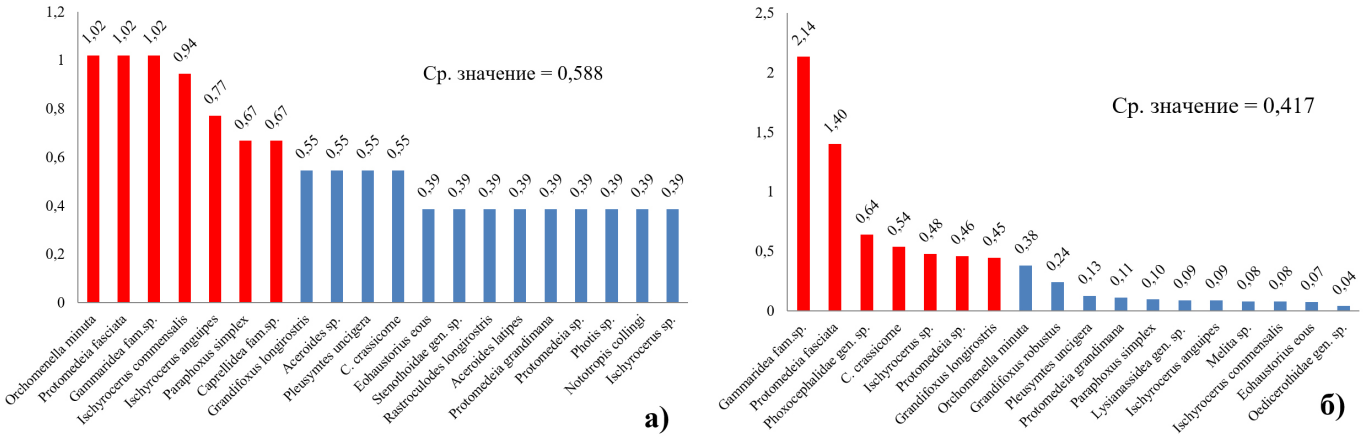

Рис. 4. Доминирующие виды амфипод (по индексу Броцкой–Зенкевича) в макрозообентосе мягких грунтов Авачинской губы в июне (а) и сентябре (б) 2021 г.
Fig. 4. Amphypod species dominating (according to Brotskaya–Zenkevich index) in macrozoobenthos of soft substrates in Avacha Bay in June (a) and September (б) 2021

Таблица 2. Таксоцены бокоплавов мягких грунтов Авачинской губы в 2021 г.
Table 2. Taxocenes of amphipods in soft soils of Avacha Bay in 2021

Таксоценоз	Станции	Грунт*
Июнь		
«P. fasciata»; характерные: *O. minuta, I. commensalis, I. anquipes*; случайные: *C. crassicorne, P. uncigera, G. longirostris, Aceroides* sp.	1, 3, 5, 7, 8, 9	ЧИ, H_2S ил, ЧИ + шлак, ИП, МИП
«P. fasciata + I. commensallis»; характерные: *I. anquipes*	4	H_2S ил
«O. minuta + G. longirostris»; характерные: *E. eous, P. simplex, C. crassicorne, R. longirostris*	10	П
«O. minuta»; характерные: *I. commensalis*	6	ЧИ
Сентябрь		
«P. fasciata + O. minuta»; характерные: *Protomedeia* sp., *Ischyrocerus* sp.	6, 7	Ил, ЧИ + шлак
«O. minuta»; характерные: *E. eous, G. longirostris, C. crassicorne, G. robustus, Ischyrocerus* sp.	4, 5, 10	H_2S ил, ИП, П
***«P. simpiex* + Phoxocephalidae gen. sp.»**; характерные: *P. fasciata, P. grandimana*; случайные: *P. uncigera, I. commensallis, I. amquipes,* Lysiannassidea gen. sp.	9	МИП

Примечания. *ЧИ — черный ил; H_2S ил — сероводородный ил; П — песок; МИП — мелкий илистый песок. Жирным курсивом обозначены названия сообществ.

научн. конф. «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей». Петропавловск-Камчатский. С. 226–229.

Блохин И.А., Морозов Т.Б. 2020а. Сообщества бокоплавов (Amphipoda, Gammaridea) мягких грунтов Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в 2019 г. / Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Матер. XI Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. (24–25 марта 2020 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 11–17.

Блохин И.А., Морозов Т.Б. 2020б. Макрозообентос мягких грунтов Авачинской губы весной 2020 г. по результатам дночерпательной съемки / Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Тез. докл. XXI междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию со дня рожд. д. б. н. В.В. Ошуркова. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 196–202.

Блохин И.А., Морозов Т.Б. 2021. Изменение количественных характеристик макрозообентоса мягких грунтов Авачинской губы в период 2014–2021 гг. по результатам дночерпательных исследований / Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер XXII Междунар. науч. конф. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 113–118.

Блохин И.А., Морозов Т.Б., Архипова Е.А. 2018. Макрозообентос как индикатор экологического состояния Авачинской губы / Сб. статей Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 125-летию проф. В.А. Водяницкого «Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование» (Севастополь, 28 мая – 1 июня). Севастополь: Колорит. С. 37–44.

Броцкая В.А., Зенкевич Л.А. 1939. Количественный учет донной фауны Баренцева моря. // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. института морского рыбного хозяйства и океанографии. Т. IV. М. С. 5–98.

Константинов А.С. 1972. Общая гидробиология. М.: Высшая школа. 472 с.

Морозов Т.Б., Блохин И.А. 2019. Сезонные изменения плотностных характеристик дночерпательного макрозообентоса в Авачинской губе (Юго-Восток Камчатки) с апреля по октябрь 2018 г. / XII Съезд Гидробиол. общества при РАН: Тез. докл. (16 сентября – 20 сентября 2019 г., Петрозаводск). Петрозаводск: КарНЦ РАН. С. 348–349.

Нейман А.А. 1983. Рекомендации по исследованию бентоса шельфов. М.: ВНИРО. 24 с.

Фролова Г.И. 2008. Методические рекомендации по отбору, обработке и анализу гидробиологических проб воды и грунта. Сост. Г.И. Фролова. М.: Лесная страна. 112 с.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2003. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН. 463 с.

УДК 556.551

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Мария Федоровна Изиметова

Уральский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (УралНИРО), Екатеринбург, Россия, izimetova.marya.3105@yandex.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты исследований, проведенных в 1939–2021 гг. на рыбохозяйственных водоемах Челябинской области. На основании материалов данных исследований, литературных и архивных источников анализируются морфометрические и гидрохимические особенности водоемов. Оценивается качество воды по минерализации, ионному составу, эколого-санитарным показателям (прозрачность, цветность, $БПК_5$, pH и др.).
Ключевые слова: качество воды, гидрохимический режим, рыбохозяйственные водоемы

WATER QUALITY ASSESSMENT OF THE FISHERY WATER BODIES OF THE CHELYABINSK REGION

Mariya F. Izimetova

Ural Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (UralNIRO), Ekaterinburg, Russia, izimetova.marya.3105@yandex.ru

Abstract. The paper presents research results obtained from the fishery water bodies of the Chelyabinsk region in 1939–2021. The data, literature and archival sources are used for analysis of morphometric and hydrochemical features of the water bodies. Water quality is assessed by mineralization, ionic composition, ecological and sanitary indicators (transparency, color, BOD_5, pH, etc.).
Keywords: water quality, hydrochemical regime, fishery water bodies

Челябинская область расположена на западном и восточном склонах Южного Урала и в Зауралье. На севере граничит со Свердловской областью, на востоке — с Курганской, на юге — с Оренбургской, на юго-востоке — с Казахстаном, на западе — с Республикой Башкортостан. Область находится в зонах южной тайги, смешанных лесов, степного редколесья и степи.

На территории Челябинской области находится значительное количество водоемов, имеющих рыбохозяйственную ценность. В комплекс рыбохозяйственных исследований Уральского филиала ВНИРО входит оценка качества воды водных объектов для определения условий обитания водных биоресурсов.

В настоящей работе рассматриваются озера Сунгуль, Иртяш, Карагайское и Верхне-Уральское водохранилище по материалам, собранным с 1939 г. по 2021 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе анализируются литературные и архивные данные Уральского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (УралНИРО) по гидрохимическому режиму водоемов.

Пробы для химического анализа воды отбирали в каждом водном объекте по общепринятым методикам (Алекин, 1970; Бессонов, Привезенцев, 1987). Пробы исследовали в аккредитованной лаборатории ООО «Тест-Эксперт» (аттестат аккредитации от 17 августа 2017 г. № RA.RU. 21AC45) в соответствии с аттестованными методиками в ранге РД 52… и ПНД Ф, предназначенными для анализа поверхностных вод. Качество воды оценивали в соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77 (ГОСТ 17.1.2.04-77, 1977).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оз. Сунгуль расположено севернее г. Касли, в бассейне р. Теча, между озерами Силач и Киреты, с которыми соединено протоками. Это типичный плотвично-окуневый водоем восточного склона Уральских гор (Черняева и др., 1977).

Берега озера сильно развитые, высокие, гористые, обрывистые. Рельеф дна сложный. По классификации, предложенной М.А. Андреевой (1973), относится к озерам эрозионно-тектонического происхождения. По площади водного зеркала является крупным водоемом, по глубине — средним. Грунты у берега каменистые, каменисто-песчаные, заиленный песок, в центральной части — оливково-серый, хорошо переработанный ил. В курьях ил темно-коричневый, детритный. Растительность развита в основном в заливах. Преобладает элодея.

Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, вода оз. Сунгуль пресная, среднеминерализованная, от мягкой до умеренно жесткой, по водородному показателю варьирует от нормальной до щелочной в летний период при интенсивном развитии фитопланктона.

Анионно-катионный состав на протяжении многих лет остается сравнительно постоянным с преобладанием катионов кальция, магния, натрия и гидрокарбонат-ионов (таблица 1). В 2020 году по соотношению между ионами воды озеро относилось к гидрокарбонатно-сульфатному классу натриевой группы (Алекин, 1970).

В последние годы (2013–2021 гг.) прозрачность воды низкая — менее 1,0 м, что обусловлено интенсивным развитием водорослей. Кислородный режим в озере в подледный период напряженный. По более ранним данным (Балабанова, 1949), насыщение воды кислородом в придонных слоях зимой может составлять 3,5–5,6%. В июле 2007 г. минимальное содержание растворенного кислорода в воде достигало 3,50 мг/дм^3 (40% насыщения). В 2015–2021 гг. содержание кислорода в летний период составляло 6,5–13,5 мг/дм^3.

В разные периоды (2010–2021 гг.) наблюдались повышенные значения биогенных элементов, таких как аммоний, фосфаты, перманганатная окисляемость, БПК$_5$.

В целом водоем по различным показателям можно охарактеризовать как бетамезосапробный, что соответствует эвтрофному уровню природной трофии (Жукинский и др., 1993).

Озеро Иртяш расположено южнее г. Касли, является глубоким и одним из самых крупных по площади озер Каслинско-Кыштымской системы. Озерная котловина относится к тектоническому типу.

Это типичный плотвично-окуневый водоем восточного склона Уральских гор. Берега озера сильно изрезанные заливами, высокие, гористые, обрывистые. Есть острова. Рельеф дна сложный. Грунты у берега каменистые, каменисто-песчаные, заиленный песок, в центральной части — оливково-серый, хорошо переработанный ил. В курьях ил темно-коричневый, детритный. Растительность развита, в основном, в заливах и у берегов. Преобладает элодея (Рундквист, Задорина, 2013). Озеро проточное: в него впадает и вытекает р. Теча.

В соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77, вода оз. Иртяш характеризуется как пресная, среднеминерализованная, от мягкой до умеренно жесткой, от нормальной до щелочной по водородному показателю. Класс воды на протяжении многих лет остается гидрокарбонатным с преобладанием катионов кальция и магния, в 2020 году группа сменилась на натриевую.

Кислородный режим как в летний, так и в зимний период достаточно благополучный, с насыщением воды кислородом 59–83% летом и 71–74% зимой. В 2015–2021 гг. содержание кислорода не опускалось ниже 8,3 мг/дм^3.

В разные периоды 2010–2020 гг. в водоеме фиксировалось повышенное содержание нитритов, фосфатов, ионов аммония, БПК$_5$.

В настоящее время по комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши В.Н. Жукинского с соавторами (1993) водоем можно

Таблица 1. Морфометрическая и гидрохимическая характеристика исследуемых водоемов
Table 1. Morphometric and hydrochemical characteristics of the examined aquatic bodies

Параметры, ед. изм.	Оз. Сунгуль	Оз. Иртяш	Оз. Карагайское	Водохранилище Верхнеуральское
Площадь, км^2	11,5	61,8	3,16	75,5
Глубина средняя, м	4,0	8,7	3,6	8,0
Глубина максимальная, м	8,0	18,6	5,2	22,1
Класс воды	$C^{Ca, Mg, Na}/S^{Na}$	$C^{Ca}/C^{Mg}/C^{Na}$	$C\text{-}Cl^{Mg\text{-}Na}\text{-}C^{Na\text{-}Mg}$	$C^{Na\text{-}Mg}/^{Ca}/C\text{-}Cl^{Mg\text{-}Na}$
Минерализация, г/дм^3	0,1–0,9	0,1–0,3	0,4–0,8	0,1–0,4
pH, ед.	6,7–9,8	6,8–9,3	7,9–9,0	7,6–8,2
Жесткость общая, ºЖ	0,76–3,40	0,83–4,90	3,2–6,3	0,6–4,0
Прозрачность, м	0,2–2,0	1,0–5,0	0,1–1,5	1,0–2,5
Цветность, градус цветности	11,0–102	8,9–62,0	19,0–45,0	15,0–127,6
Перманганатная окисляемость, мгO$_2$/дм^3	1,30–18,4	4,30–18,2	12,0–38,0	4,0–12,1
БПК$_5$, мгO$_2$/дм^3	0,90–27,0	0,30–29,0	26,0–68,0	2,0–28,0
Аммоний-ион, мг/дм^3	От <0,0056 до 2,99	От <0,05 до 0,68	0,38–2,64	От <0,1 до 0,57
Нитриты, мг/дм^3	От <0,003 до 0,47	От <0,003 до 0,29	0,039–0,21	От <0,02 до 0,079
Нитраты, мг/дм^3	0,00–9,17	От <0,1 до 2,4	0,5–2,9	От <0,1 до 7,67
Фосфаты, мг/дм^3	От <0,01 до 1,91	От <0,01 до 0,55	От <0,01 до 0,3	От <0,01 до 0,118

охарактеризовать как бетамезосапробный, что соответствует эвтрофному уровню природной трофии.

Динамика показателей качества воды в водоеме отражает уровень антропогенного загрязнения Каслинской системы озер, которая является приемником хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод предприятий и населенных пунктов, расположенных на ее обширной водосборной площади (Еремкина, 2010; Кулик, Чураков, 2016).

Карагайское озеро находится в Верхнеуральском районе. Озеро мелководное и среднее по площади. По происхождению озерной котловины относится к эрозионно-тектоническому типу. На восточном берегу расположен пос. Карагайский. Карагайское озеро относится к бассейну р. Кидыш Иртышского бассейнового округа, подбассейну р. Тобол. Северный и западный берега заросли жесткой растительностью, занимающей 15% площади зеркала. В озеро с севера впадает небольшая река, собирающая сток с водосборной площади озера, а с юга из него вытекает небольшой ручей. Питание озера также осуществляется за счет атмосферных осадков (Карагайское.., 2015).

Рельеф водосбора грядово-холмистый, увалы и холмы достигают высоты 400–500 м. Почвы — в основном обыкновенные черноземы; растительность лесостепная. На восточном берегу озера находится Карагайский бор. В Карагайском бору расположены многочисленные базы отдыха (Захаров, 2011).

Исследования качества воды оз. Карагайского Уральским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» (УралНИРО) в рамках изучения рыбохозяйственных характеристик водоемов Челябинской области проводились в 1960, 2020–2021 гг.

Вода оз. Карагайского среднеминерализованная, гидрокарбонатного класса натриево-магниевого типа, в зимний период — высокоминерализованная, умеренно жесткая, по величине pH может изменяться от нормальной до щелочной (опасна для рыб всегда) (ГОСТ 17.1.2.04-77).

Кислородный режим удовлетворительный. Содержание кислорода летом 2020–2021 гг. составляло 6,5–7,0 мг/дм^3. Для водоема характерны повышенные значения $БПК_5$, ХПК, ионов аммония. В зимний период 2020 г. отмечены высокие значения перманганатной окисляемости и фосфатов.

По комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши В.Н. Жукинского с соавторами (1993), качество воды оз. Карагайского соответствует бетамезосапробному водоему.

Верхне-Уральское водохранилище расположено в верховье р. Урал в пределах Челябинской области у горы Лиственной. Створ плотины находится в 2192 км от устья. Площадь водосбора 4280 км^2.

Нормальный подпорный уровень (НПУ) 382,0 м. Полный объем водохранилища при НПУ — 601,0 млн м^3, полезный — 568,7 млн м^3, площадь водного зеркала при НПУ — 75,5 км^2 (в т. ч. в пределах Верхнеуральского района 48,5 км^2, Агаповского — 27,0 км^2), длина водохранилища — 33,0 км, средняя ширина — 2,3 км, максимальная — 4,0 км, средняя глубина — 8,0 м, максимальная при НПУ — 22,1 м. По объему воды и площади зеркала это второе (после Аргазинского) водохранилище Челябинской области (Силивров и др., 2019).

Водохранилище многолетнего регулирования, эксплуатируется в каскаде с Магнитогорским водохранилищем. Год начала строительства — 1960. Верхне-Уральское водохранилище создано для осуществления единой комплексной водохозяйственной системы, призванной надежно обеспечивать водой ОАО «ММК», г. Магнитогорск, железнодорожный транспортный узел и орошение сельскохозяйственных земель. Верхне-Уральское водохранилище используется также для целей аквакультуры (товарного рыбоводства), любительского и спортивного рыболовства (Силивров и др., 2019).

В водохранилище впадают реки Воровская (она же Карабутак, Кара-Бутак, Аще-Бутак, Ашибутак) и Черная, левые притоки р. Урал. На водохранилище есть несколько небольших островов; самый крупный за своеобразную форму получил название Кит. Множество заливов (Змеиный, Щучий, Сабановский и др.) и бухт — популярные места рыбалки.

Береговая линия извилистая. Склоны пологие, преимущественно открытые, покрыты степной растительностью. Окружающая местность холмистая.

Исследования качества воды Верхнеуральского водохранилища Уральским филиалом ВНИРО (УралНИРО) в рамках изучения рыбохозяйственных характеристик водоемов Челябинской области проводились в 1974, 2007, 2020–2021 гг.

Согласно ГОСТ 17.1.2.04-77, вода Верхнеуральского водохранилища среднеминерализованная, по соотношению между ионами вода гидрокарбонатного класса смешанного кальциево-магниевого типа, варьирует от очень мягкой до умеренно жесткой, по величине pH нормальная (таблица 1). Газовый режим водоема благополучный, насыщение воды кислородом в летний период 85–93%. Содержание кислорода в 2020–2021 гг. составляло 8,4–12,0 мг/дм^3. В 2007 г. отмечена высокая цветность воды: до 127,6 градусов цветности (таблица 1). Водохранилище характеризуется низкой прозрачностью.

В целом гидрохимический режим Верхнеуральского водохранилища достаточно устойчивый. По комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши В.Н. Жукинского с соавторами (1993) качество воды соответствует олиго-бета-мезосапробному водоему.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обращаясь к системе типизации озер Челябинской области, предложенной З.М. Балабановой (2006), по химизму воды исследованные озера можно отнести к озерам горной системы. Озера горной системы представляют собой пресные водоемы с мягкими водами (исключение — оз. Карагайское), небольшой концентрацией отдельных ионов и удовлетворительным газовым режимом. Все озера преимущественно карбонатные водоемы. По величине водородного показателя озера относятся к нейтрально-щелочным. Окисляемость невысокая. Анализ многолетних данных свидетельствует о сравнительно благополучном состоянии озер и достаточно благоприятных условиях для обитания водных организмов.

Верхнеуральское водохранилище в настоящее время является мезотрофным водоемом со стабильным и благоприятным для обитания рыб и других гидробионтов гидрохимическим режимом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Алекин О.А. 1970. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат. 443 с.

Андреева М.А. 1973. Озера Среднего и Южного Урала. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во. 272 с.

Балабанова З.М. 1949. Химизм озер восточного склона Урала и зауральской равнины // Тр. УралВНИОРХ. Т. 4. С. 10–20.

Бессонов Н.М., Привезенцев Ю.А. 1987. Рыбохозяйственная гидрохимия. М.: Агропромиздат. 158 с.

ГОСТ 17.1.2.04-77. 1977. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. М.: Изд-во стандартов. 17 с.

Еремкина Т.В. 2010. Структура и функционирование фитопланктона озер северной части Увильдинской зоны (Челябинская область) в условиях антропогенного эвтрофирования. Автореф. дис. … канд. биол. наук. Борок. 22 с.

Жукинский В.Н., Оксиюк О.П., Брагинский Л.П. и др. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журнал. Т. 29, № 4. С. 62–76.

Захаров С.Г. 2011. Карагайское озеро — водораздел Евразии / Матер. II заочной Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти Т.Л. Ишуковой (Челябинск, 20 октября 2011 г.). Магнитогорский Дом печати. С. 230–232.

Карагайское: [сайт]: URL.http://reki-ozera.ru/rybalka_v_chelyabinskoy_obl/ozera/110160-karagayskoe.html

Кулик И.В., Чураков А.А. 2016. Основные черты гидрохимического режима некоторых озер северной части Челябинской области // Вестник рыбохоз. науки. Т. 3, № 4 (12). С. 81–90.

Рундквист Н.А., Задорина О.В. 2013. УРАЛ. Иллюстрированная краеведческая энциклопедия. Екатеринбург: Уральский рабочий. 592 с.

Силивров С.П., Еремкина Т.В., Цурихин Е.А., Чечулина Н.В. 2019. К вопросу о современном состоянии гидроценоза Верхнеуральского водохранилища / Проблемы экологии Южного Урала: Сб. матер. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. С. 53–57.

Черняева Л.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н. 1977. Гидрохимия озер (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеоиздат. 336 с.

УДК 597-149.2:502.175(262.54)

УРОВЕНЬ СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ТАРАНИ (*RUTILUS RUTILUS*) ИЗ РАЗНЫХ НЕРЕСТОВО-ВЫРОСТНЫХ ХОЗЯЙСТВ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА ПО АСИММЕТРИИ МЕРИСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ

Ольга Викторовна Кириченко, Виктория Васильевна Лисовская, Анна Владимировна Войкина, Леонид Анатольевич Бугаев

Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Ростов-на-Дону, Россия, kirichenko_o_v@azniirkh.ru, lisovskaya_v_v@azniirkh.ru, voykina_a_v@azniirkh.ru, bugaev_l_a@azniirkh.ru

Аннотация. Меристические признаки рыб используются для исследования флуктуирующей асимметрии (ФА) — чувствительного, простого и доступного метода оценки эффекта стресса на популяции. Выборка составила 151 экз. тарани с разных нерестово-выростных хозяйств. Анализируя все полученные данные по хозяйствам, можно предположить, что рыбы исследуемого возраста (2, 3+) развивались в условно нормальных условиях, не оказывающих сильных негативных воздействий на рост и развитие рыб, т. е. имели условно стабильное состояние.
Ключевые слова: *Rutilus rutilus*, морфометрические показатели, уровень стабильности, асимметрия, меристические признаки, тарань

DEVELOPMENT STABILITY LEVEL OF ROACH *RUTILUS RUTILUS* FROM DIFFERENT SPAWNING-NURSERY FARMS OF THE AZOV-BLACK SEA BASIN BY THE ASYMMETRY OF MERISTIC SIGNS

Olga V. Kirichenko, Viktoria V. Lisovskaya, Anna V. Voykina, Leonid A. Bugaev

Azov-Black Sea Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (AzNIIRKH), Rostov-on-Don, Russia, kirichenko_o_v@azniirkh.ru, lisovskaya_v_v@azniirkh.ru, voykina_a_v@azniirkh.ru, bugaev_l_a@azniirkh.ru

Abstract. Meristic characteristics of fish are used to study fluctuating asymmetry (FA) – a sensitive, simple and affordable method for assessing the effect of stress on populations. The sample consisted of 151 specimens of roach from different spawning and nursery farms. Analysis of all the data obtained on the farms makes possible to assume that fish of the studied age (2, 3+) developed under conventionaly normal conditions did not have strong negative effects on the growth and development of fish, i. e. had a conventionaly stable condition.
Keywords: *Rutilus rutilus*, morphometric indicators, level of stability, asymmetry, meristic characters, roach

Известно, что количество позвонков и лучей в плавниках рыб закладывается в раннем онтогенезе, отчего возраст не является влияющим фактором на эти признаки. В первые месяцы личиночного развития определяется окончательное число лучей в плавниках, на стадии малька закладывается и число чешуй в боковой линии (как прободенных, так и непрободенных) (Черняев, 2004). Однако в случае последнего признака число может изменяться, если у рыбы были повреждения. Тогда, при восстановлении чешуй, их число может измениться.

Число жаберных лучей редко оценивается в связи с высоким уровнем постоянства для многих видов и мало годится для разделения внутривидовых форм и популяций. А если проверить следующий меристический признак — число глоточных зубов у рода *Rutilus*, то, к примеру, по Атласу пресноводных рыб России (Решетникова, 2002) или по другим обзорным работам (Решетникова, 2010), можно увидеть, что данный признак постоянен и для тарани соответствует числам 5–5 с обеих сторон (в редких, но возможных случаях — 6–5).

Меристические признаки рыб используются для исследования флуктуирующей асимметрии (ФА) — метода чувствительного, простого и доступного для оценки эффекта стресса на популяции (Lajus et al., 2003; Лайус и др., 2009).

Флуктуирующая асимметрия служит выражением внутрииндивидуального разнообразия как проявления случайной изменчивости развития, таким образом становясь возможным только на уровне групп особей (Захаров, 1987). Некоторые исследователи использовали флуктуирующую асимметрию как показатель стабильности развития (Тимофеев-Ресовский, Иванов, 1966; Астауров, 1974), однако в ходе экспериментов (Tebb, Thoday, 1954a, b; Beardmore, 1960) и при изучении природных популяций (Захаров, Зюганов, 1980; Vrijenhoek, Lerman, 1982) было отмечено, что уровень флуктуирующей асимметрии (как отражение определенной стабильности развития) соответствует лишь конкретным условиям среды и может быть совершенно иным при необычных условиях развития. Таким образом, при воздействии антропогенных факторов (тепловых, химических, радиационных загрязнений и проч.) нарушается стабильность развития, и данный показатель увеличивается (Захаров, 1987; Рябов, Молюков, 1988; Чубанишвили, 1998).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В основу работы положены результаты исследований тарани с 2020 по 2021 гг. во время нереста. География района исследований охватывала ФГУП «Ейское экспериментальное хозяйство по разведению и воспроизводству рыбы» (далее — Ейское ЭХРВР), ФГУП «Восточно-Ахтарское нерестово-выростное хозяйство» (далее — Восточно-Ахтарское НВХ), ФГУП «Черноерковское нерестово-выростное хозяйство» (далее — Черноерковское НВХ) и ФГУП «Бейсугское нерестово-выростное хозяйство» (далее — Бейсугское НВХ).

Возраст рыб определяли по чешуе. Рыб взвешивали на сертифицированных весах с точностью до 0,1 г, длину измеряли штангенциркулем с точностью до 0,05 см.

Для оценки уровня стабильности развития учитывали такие признаки, как число лучей в грудных плавниках, число лучей в брюшных плавниках, число жаберных тычинок на 1-й жаберной дуге, число чешуй в боковой линии и число чешуй в боковой линии, прободенных сенсорными канальцами. Такая оценка позволяет оценить качество молоди рыб по способности организма следовать генетически определенной программе развития при данных условиях среды (Захаров и др., 2000; Хорошеньков, Пескова, 2013).

Число глоточных зубов и число лучей в межжаберной перегородке у исследуемых экземпляров тарани не учитывали, потому как данные признаки обладают явной направленностью асимметрии. Для счетных признаков величину асимметрии у каждой особи определяли отдельно по различию числа структур слева и справа. Оценку отклонения развития рыб от стабильного (условно нормального) состояния проводили по разработанной пятибалльной шкале, приведенной в таблице 1 (Lajus et al., 2003).

Интегральным показателем стабильности развития комплекса счетных признаков является средняя частота асимметричного проявления на признак; этот показатель рассчитывается как среднее арифметическое числа асимметричных признаков у каждой особи, отнесенное к числу используемых признаков. В этом случае не учитывается величина различия между сторонами, а лишь сам факт асимметрии (Захаров и др., 2000).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ейское ЭХРВР. Всего было исследовано 40 рыб возрастных групп 2 и 3+ (таблица 2). в среднем линейно-массовые показатели тарани из Ейского ЭХРВР составляли 90 ± 1,8 г при 15,7 ± 0,13 см у самцов в возрасте 2 и 90 ± 2,8 г при 15,5 ± 0,20 см у самок в возрасте 2. Средние значения линейно-массовых показателей для особей 3+ составляли 116 ± 4,0 г при 17,4 ± 0,43 см для самцов и 105 ± 2,7 г при 16,7 ± 0,26 см для самок.

В ходе анализа асимметричных признаков тарани из Ейского ЭХРВР была выявлена асимметрия брюш-

Таблица 1. Шкала оценки экологического состояния водоема по степени отклонений в развитии рыб
Table 1. Scale for assessing the ecological state of a water body based on ontogenetic deviations in fish

Балл	Состояние водоема	Величина показателя стабильности развития рыб
1	Условно нормальное	До 0,30
2	Незначительные отклонения от условной нормы	0,30–0,34
3	Средний уровень отклонений от условной нормы	0,35–0,39
4	Значительные отклонения от условной нормы	0,40–0,44
5	Критическое состояние	0,45 и выше

Таблица 2. Линейно-массовые показатели тарани из Ейского ЭХРВР
Table 2. Length-weight indices of roach in the Yeysk experimental farm for fish breeding and rearing

Место и дата вылова	Пол	Возраст	Кол-во	Масса, г	Длина, см
Март 2021	Самец	2	13	90 ± 1,8	15,7 ± 0,13
		3+	6	116 ± 4,0	17,4 ± 0,43
	Самка	2	13	90 ± 2,8	15,5 ± 0,20
		3+	8	105 ± 2,7	16,7 ± 0,26

ных плавников у 10% изученных особей (встречаемость по 5% с каждой стороны, т. е. по 2 случая из 40) из всей выборки. Таким образом, справа асимметрия была выявлена у 2 самок, а слева у 2 самцов (таблица 3).

Асимметрия грудных плавников была выявлена у 45% особей: 11 из них справа и 7 — слева. Десять случаев данного отклонения было выявлено у самок, чаще справа (6:4 случаев); 8 — у самцов, также чаще справа (5:3 случаев). Среди них только 4 особи из возрастной группы 3+.

У одного исследованного экземпляра (самец, возраст 3+) были найдены непрободенные чешуи на боковой линии в количестве по 8 штук с каждой стороны, т. е. асимметрии выявлено не было. Располагались они параллельно на хвостовом участке друг за другом, «елочкой», словно восстановленная чешуя после повреждения. У других особей из Ейского ЭХРВР непрободенных чешуй найдено не было.

Асимметрия прободенных канальцами чешуй была выявлена у 52,5% рыб (21 из 40 случаев): меньше чешуй было подсчитано с левой стороны самцов и самок (7 и 5 соответственно экземпляров имели меньшее количество чешуй с левой стороны), справа чешуй было меньше у 5 самок и 4 самцов. Данные различия были выявлены у 4 рыб в возрасте 3+, остальные — у тарани в возрасте 2 года.

Число жаберных тычинок на 1 дуге не совпадало с двух сторон у 15% исследованных особей, из которых 2 — самки в возрасте 3+, остальные — из возрастной группы 2 (4 самца и 1 самка).

Восточно-Ахтарское НВХ. Во ФГУП «Восточно-Ахтарское нерестово-выростное хозяйство» было исследовано 25 самок и 25 самцов тарани в апреле 2021 года. Таким образом, выборка состояла из ряда 50 экз. в возрасте 2 и 3+ (таблица 4).

Самцы и самки тарани из возрастной группы 2 практически не различались по линейно-массовым показателям, а в возрасте 3+ самки имели незначительно более высокие средние показатели.

По таблице 5 можно видеть, что в Восточно-Ахтарском НВХ была выловлена особь, имеющая 4 асимметричных признака из 5 возможных, самка в возрасте 2 года. Этот экземпляр — единственный случай сильной асимметрии показателей за все исследование по данному водоему.

Непрободенных чешуй в выборке не было. Асимметрия прободенных канальцами чешуй встречалась у 42% особей (у 12 самцов и 9 самок).

Число лучей в грудных плавниках было неравным у 40% из всех исследованных рыб (13 случаев у самок и 7 у самцов). В основном асимметрия была выявлена у тарани в возрасте 2 года. Преимущественно с левой стороны лучей было меньше (13:7).

Асимметрия числа лучей в брюшных плавниках была выявлена лишь у 8% особей от всей выборки. Все — самки (в возрасте 3 года 1 экз. и в возрасте 2 года — 3). Справа меньше лучей было в 3 случаях из 4.

У 22% особей из всей выборки была выявлена асимметрия числа жаберных тычинок на 1 дуге, в основном все — представители возрастной группы 2 (всего 2 экз. имели асимметрию этого показателя в возрасте 3+).

Черноерковское НВХ. Было исследовано 27 самок в апреле 2021 года возрастной группы 2, 3+ и 4+ (табл. 6). Можно видеть, что с возрастом линейно-

Таблица 3. Анализ асимметричных признаков тарани из Ейского ЭХРВР
Table 3. Analysis of the assymetric characteristics of roach in the Yeysk experimental farm for fish breeding and rearing

№	A*	A/n**	№	A*	A/n**	№	A*	A/n**
1	2	0,4	16	2	0,4	31	0	0
2	2	0,4	17	2	0,4	32	1	0,2
3	3	0,6	18	2	0,4	33	1	0,2
4	1	0,2	19	0	0	34	1	0,2
5	2	0,4	20	0	0	35	0	0
6	2	0,4	21	1	0,2	36	1	0,2
7	2	0,4	22	2	0,4	37	0	0
8	1	0,2	23	1	0,2	38	1	0,2
9	0	0	24	0	0	39	1	0,2
10	0	0	25	1	0,2	40	1	0,2
11	1	0,2	26	1	0,2			
12	0	0	27	2	0,4			
13	3	0,6	28	2	0,4	Итого:		0,25
14	2	0,4	29	2	0,4			
15	2	0,4	30	1	0,2			

Примечание: № — порядковый номер рыбы; A — число выявленных отклонений; A/n — число выявленных отклонений, деленное на количество измеряемых показателей.

Таблица 4. Линейно-массовые показатели тарани из Восточно-Ахтарского НВХ
Table 4. Length-weight indices of roach in the Vostochno-Akhtar spawning nursery

Дата вылова	Пол	Возраст	Кол-во	Масса, г	Длина, см
Апрель 2021	Самец	2	21	65 ± 2,0	15,1 ± 0,16
		3+	4	83 ± 3,1	16,6 ± 0,13
	Самка	2	21	66 ± 3,3	15,0 ± 0,22
		3+	4	92 ± 6,0	17,3 ± 0,32

массовые показатели самок тарани, выловленных в Черноерковском НВХ, гармонично увеличиваются. К сожалению, в возрасте 4+ была выловлена всего 1 особь.

По таблице 7 можно видеть, что 29,6% из всей выборки самок не имели асимметрии по анализируемым показателям. По числу чешуй в боковой линии была выявлена высокая частота встречаемости асимметрии (55,5% из всех особей). Асимметрия числа лучей в грудных плавниках была выявлена у 40,7% самок, тогда как различия по числу лучей в брюшных плавниках имели только 14,8% исследованных рыб. У 18,5% из всей выборки особей была выявлена асимметрия числа жаберных тычинок на 1-й дуге.

Бейсугское НВХ. Исследовано 28 самцов и 8 самок. Общая выборка состояла из ряда 36 особей тарани возрастной группы 2 и 3+ самцы, 2 — самки (табл. 8).

Самцы из выборки в среднем имели несколько большие линейно-массовые показатели, чем самки того же возраста (2). В возрасте 3+ увеличение этих показателей, согласно анализу, возросло незначительно: вероятно, сказывается небольшой объем выборки, т. к. в возрасте 2 года были рыбы тех же размеров.

В ходе анализа асимметричных признаков тарани (табл. 9) практически не было выявлено асимметрии в числе лучей в брюшных плавниках исследуемых рыб: только у 1 экз. (самец в возрасте 2 года) из всей выборки. Асимметрия грудных плавников была выявлена у 41,6% из всех исследуемых особей: у 50% самок и 39,3% самцов. Преимущественно справа (13:2) лучей в брюшном плавнике было меньше.

Различия в числе прободенных чешуй у тарани были выявлены в 33,3% случаев, в основном у самцов. Непрободенных чешуй в боковой линии не было.

Таблица 5. Анализ асимметричных признаков тарани из Восточно-Ахтарского НВХ
Table 5. Analysis of the assymetric characteristics of roach in the Vostochno-Akhtar spawning nursery

№	A*	A/n**	№	A*	A/n**	№	A*	A/n**
1	2	0,4	18	2	0,4	35	4	0,8
2	2	0,4	19	0	0	36	1	0,2
3	1	0,2	20	1	0,2	37	0	0
4	2	0,4	21	2	0,4	38	2	0,4
5	0	0	22	1	0,2	39	1	0,2
6	1	0,2	23	3	0,6	40	1	0,2
7	0	0	24	1	0,2	41	1	0,2
8	1	0,2	25	0	0	42	1	0,2
9	0	0	26	1	0,2	43	1	0,2
10	1	0,2	27	1	0,2	44	1	0,2
11	0	0	28	2	0,4	45	1	0,2
12	0	0	29	0	0	46	2	0,4
13	0	0	30	2	0,4	47	2	0,4
14	0	0	31	2	0,4	48	2	0,4
15	1	0,2	32	1	0,2	49	1	0,2
16	1	0,2	33	1	0,2	50	0	0
17	2	0,4	34	1	0,2	Итого:		0,23

Таблица 6. Линейно-массовые показатели тарани из Черноерковского НВХ
Table 6. Length-weight indices of roach in the Chernoerkovsk spawning nursery

Дата вылова	Пол	Возраст	Кол-во	Масса, г	Длина, см
Апрель 2021	Самка	2	4	104 ± 9,2	16,4 ± 0,46
		3+	22	180 ± 11,0	19,5 ± 0,30
		4+	1	428	24,7

Таблица 7. Анализ асимметричных признаков тарани из Черноерковского НВХ
Table 7. Analysis of the assymetric characteristics of roach in the Chernoerkovsk spawning nursery

№	A*	A/n**	№	A*	A/n**	№	A*	A/n**
1	0	0	11	0	0	21	2	0,4
2	2	0,4	12	1	0,2	22	1	0,2
3	0	0	13	1	0,2	23	0	0
4	2	0,4	14	2	0,4	24	0	0
5	1	0,2	15	4	0,8	25	3	0,6
6	0	0	16	0	0	26	3	0,6
7	2	0,4	17	1	0,2	27	1	0,2
8	2	0,4	18	1	0,2			
9	1	0,2	19	3	0,6	Итого:		0,259
10	2	0,4	20	0	0			

Таблица 8. Линейно-массовые показатели тарани из Бейсугского НВХ
Table 8. Length-weight indices of roach in the Beysug spawning nursery

Дата вылова	Пол	Возраст	Кол-во	Масса, г	Длина, см
Апрель, 2021	Самец	2	25	64 ± 2,3	15,1 ± 0,14
		3+	3	74 ± 7,9	15,5 ± 0,38
	Самка	2	8	60 ± 3,9	14,6 ± 0,30

Таблица 9. Анализ асимметричных признаков тарани из Бейсугского НВХ
Table 9. Analysis of the assymetric characteristics of roach in the Beysug spawning nursery

№	A*	A/n**	№	A*	A/n**	№	A*	A/n**
1	2	0,4	13	0	0	25	0	0
2	0	0	14	2	0,4	26	1	0,2
3	0	0	15	1	0,2	27	3	0,6
4	1	0,2	16	0	0	28	3	0,6
5	0	0	17	1	0,2	29	1	0,2
6	0	0	18	0	0	30	0	0
7	1	0,2	19	1	0,2	31	0	0
8	0	0	20	1	0,2	32	2	0,4
9	2	0,4	21	2	0,4	33	2	0,4
10	2	0,4	22	1	0,2	34	1	0,2
11	2	0,4	23	0	0	35	0	0
12	0	0	24	2	0,4	36	1	0,2
								Итого: 0,14

У 19,4% из всей выборки особей была выявлена асимметрия числа жаберных тычинок на 1 дуге, все — самцы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди исследованных экземпляров тарани в Ейском ЭХРВР к условно нормальным (не имеющим асимметрии) можно отнести 22,5% выборки. По степени изученных отклонений состояние хозяйства можно оценить как условно нормальное (0,25–1 балл), т. е. негативного влияния на исследуемую тарань по результатам исследований не было выявлено.

В Восточно-Ахтарском НВХ 24% из всех исследованных особей можно отнести к условно нормальным, не имеющим асимметрии счетных признаков. У рыб из этого НВХ по шкале оценки экологического состояния водоема частота отклонений в среднем составляла 0,23, т. е. нерестовое хозяйство можно отнести к условно нормальному, чистому водоему, где нет негативного влияния на исследуемую тарань.

Исследованные самки на Черноерковском НВХ, согласно оценки стабильности развития, не испытывали сильной антропогенной нагрузки и развивались согласно своему возрасту; исследованных самок можно отнести к условно нормальным, обитающим в условно чистом водоеме.

38,8% из всей выборки тарани, выловленной в Бейсугском НВХ, можно отнести к условно нормальным, не имеющим асимметрии в развитии. Рыбы из этого нерестового хозяйства имели наименьшую частоту встречаемости асимметрии (в среднем 0,14 единиц), что дает возможность охарактеризовать водоем, в котором была выловлена исследуемая рыба, как условно нормальный, чистый.

В целом, анализируя все полученные данные по нерестово-выростным хозяйствам, можно предположить, что рыбы исследуемого возраста (2, 3+) развивались в условно нормальных условиях, не оказывающих сильных негативных воздействий на рост и развитие рыб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Астауров Б.Л. 1974. Фенотипическая изменчивость гомодинамичных частей в пределах организма / Наследственность и развитие. С. 110–115.

Захаров В.М., Зюганов В.В. 1980. К оценке асимметрии билатеральных признаков как популяционной характеристики // Экология. № 1. С. 10–16.

Захаров В.М. 1987. Асимметрия животных. М.: Наука. 216 с.

Захаров В.М., Чубинишвили А.Т, Дмитриев С.Г., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Крысанов Е.Ю., Кряжева Н.Г., Пронин А.В., Чистякова Е.К. 2000. Здоровье среды: практика оценки. Центр экологич. политики России, Центр здоровья среды. 320 с.

Лайус Д.Л., Грэм Д.Х., Католикова М.В., Юрцева А.О. 2009. Флуктуирующая асимметрия и случайная фенотипическая изменчивость в популяционных исследованиях: история, достижения, проблемы, перспективы // Biological Communications. № 3. С. 98–110.

Решетникова Ю.С. 2002. Атлас пресноводных рыб России. М.: Наука. 379 с.

Решетникова Ю.С. 2010. Рыбы в заповедниках России. М.: Тов-во науч. изд. КМК. 627 с.

Рябов И.Н., Молюков М.И. 1988. К выбору видов-индикаторов из рыбного населения в регионе морской АЭС / Методы биоиндикации окружающей среды в районах АЭС. М.: Наука. С. 125–132.

Тимофеев-Ресовский Н.В., Иванов В.И. 1966. Некоторые вопросы феногенетики / Актуальные вопросы современной генетики. С. 114–130.

Хорошеньков Е.А., Пескова Т.Ю. 2013. Флуктуирующая асимметрия серебряного карася и густеры из некоторых степных рек Кубани // Вестник российских университетов. Математика. Т. 18. № 6-1. С. 3107–3109.

Черняев Ж.А. 2004. Эколого-физиологические особенности эмбриогенеза сиговых рыб (Coregonidae) как представителей «пагофильной» группы размножения // Тр. каф. зоол. позв. ИГУ. Т. 2. С. 132–147.

Чубанишвили А.Т. 1998. Гомеостаз развития в популяциях озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.), обитающих в условиях химического загрязнения в районе средней Волги // Экология. № 1. С. 71–74.

Beardmore J.A. 1960. Developmental stability in constant and fluctuating temperatures // Am. J. Phys. Anthrop. Vol. 14. P. 411–422.

*Lajus D.L., Graham J.H., Kozhara A.*V. 2003. Developmental instability and the stochastic component of total phenotypic variance / Developmental instability: causes and consequences. P. 343–363.

Tebb G., Thoday J.M. 1954a. Genetic effects of diurnal temperature change in laboratory populations of Drosophila melanogaster // Proc. IX Intern. Congr. Genet. Caryol. Vol. 1. P. 789–791.

Tebb G., Thoday J.M. 1954b. Stability in development and relational balance of X- chromosomes in Drosophila melanogaster // Nature. Vol. 2 P. 1109–1110.

Vrijenhoek R.S., Lerman S. 1982. Heterozygozity and developmental stability under sexual breeding systems // Evolution. Vol. 36. P. 768–776.

УДК 551.46.0

ИСТОРИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАМЧАТНИРО В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ (РАЙОН ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ)

Владимир Викторович Коломейцев

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, kolomeytsev.v.v@kamniro.ru

Аннотация. В работе приведена краткая историческая справка по океанографическим исследованиям КамчатНИРО в восточной части Охотского моря, а также основные этапы изучения Охотского моря. Дана характеристика базы океанографических данных, созданной на основе архивных материалов. Проведено сопоставление объемов данных КамчатНИРО и крупнейших дальневосточных научных учреждений ДВНИГМИ и ТОИ ДВО РАН. В результате проведенной работы установлено, что в КамчатНИРО находится уникальный архив океанографических данных по восточной части Охотского моря, превосходящий по объему данные большинства других научных организаций и учреждений. Он содержит ценную историческую информацию о характере научных работ, исследователях и измерительных средствах, которые определяют особенности пространственно-временной структуры базы данных.

Ключевые слова: Охотское море, океанографические наблюдения, история исследований, КамчатНИРО

Благодарности: автор выражает благодарность за помощь в поиске и подборке литературных источников главному специалисту издательского отдела Камчатского филиала ВНИРО Татьяне Юрьевне Салямон, а также всем сотрудникам, принимавшим участие в сборе океанографической информации для КамчатНИРО (КоТИРХ, КоТИНРО, ТИНРО, ТУРНИФ) в непростых морских условиях.

THE HISTORY OF OCEANOGRAPHIC RESEARCHES OF KAMCHATNIRO IN THE EASTERN PART OF THE SEA OF OKHOTSK

Vladimir V. Kolomeytsev

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, kolomeytsev.v.v@kamniro.ru

Abstract. The paper provides brief historical background about the oceanographic studies of KamchatNIRO in the eastern part of the Sea of Okhotsk, and the main stages in the study of the Sea of Okhotsk. Characteristics of the oceanographic database created on the basis of archival materials are given. A comparison of the data volumes of KamchatNIRO and the largest Far Eastern scientific institutions of the FERHRI (Far Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute) and POI FEB RAS (Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences). As a result of the work carried out, it was established that KamchatNIRO has unique archive of oceanographic data for the eastern part of the Sea of Okhotsk, which surpasses the data of most other scientific organizations and institutions in terms of volume. It contains valuable historical information about the core of scientific work, researchers and measuring tools that determine the features of the spatio-temporal structure of the database.

Keywords: the Sea of Okhotsk, oceanographic observations, history of researches, KamchatNIRO

Acknowledgments: the author expresses her gratitude in the search and selection of publications tot the chief specialist of the publishing department of the Kamchatka Branch of VNIRO Tatyana Yu. Salyamon, as well as to all the employees who took part in collecting the oceanographyc data for KamchatNIRO (KoTIRKh, KoTINRO, TINRO, TURNIF) in difficult sea conditions.

История океанографических исследований в Охотском море подробно изложена в большом количестве научных работ. Как правило, практически в каждой монографии, посвященной изучению Охотского моря, первые главы отведены историческому обзору исследований и причин, побуждавших их. Лишь небольшая часть из них представлена в списке литературных источников в настоящей работе. Целый ряд публикаций полностью посвящен истории исследований в Охотском море либо в дальневосточных морях. Так, например, в журнале «Во-

просы истории естествознания и техники» за 2013 г. в статье Г.А. Власовой приводится история океанографических исследований в Охотском море. В коллективной монографии «Комплексные исследования экосистемы Охотского моря» (1997) А.В. Верхунов раскрывает более узкое историческое направление, а именно развитие представлений о крупномасштабной циркуляции. Академик РАН В.А. Акуличев на торжественном заседании, посвященном 75-летию академической науки на Дальнем Востоке России, сделал доклад на тему «Исследования Тихого океана и дальневосточных морей России» (2007) с подробным изложением истории исследований.

На протяжении большей части истории океанографические исследования в восточной части Охотского моря, как правило, были сопряжены с крупномасштабными исследованиями во всем море или дальневосточных морях в целом. Кроме того, они входили в состав целого комплекса исследований по гидрометеорологии, биологии, геофизики и т. д.

Несмотря на то, что в дальневосточных морях собран колоссальный объем океанографического материала, проблемой остается его разрозненность по отдельным научным организациям, которые проводили соответствующие исследования. В региональных филиалах научных учреждений, в основном, сосредоточена информация с прилегающих морских акваторий. Например, в архиве КамчатНИРО хранятся данные океанографических наблюдений в прикамчатских водах Охотского и Берингова морей и Тихого океана. Информация о наличии таких данных, безусловно, представляет ценность как для исследователей-океанологов, изучающих дальневосточные моря, так и ученых других специальностей, заинтересованных в прикладных океанологических исследованиях.

Рассматривая историю изучения Охотского моря в контексте океанографических исследований КамчатНИРО, нельзя не коснуться краткой характеристики базы данных, созданной по архивным материалам КамчатНИРО, и основных этапов исследований моря.

Краткая справка по истории исследований Охотского моря до основания КамчатНИРО

Первые исследования Охотского моря неразрывно связаны с его открытием и освоением земель и ресурсов Дальнего Востока.

Честь открытия Охотского моря выпала на долю русского казака Ивана Москвитина, который в первой половине XVII в. с небольшим отрядом людей первым достиг дальневосточных берегов России. В последующие почти два столетия огромное количество землепроходцев, прежде всего казаков и промышленников, отправились покорять и осваивать восточные приморские земли России, попутно получая и собирая знания о природе. Были в этот период и большие экспедиции, во время которых был собран колоссальный объем естественнонаучных знаний о природе Дальнего Востока, и Охотского моря в частности. Так, например, в январе 1725 г. Петр I издал указ о подготовке Великой Северной экспедиции — крупнейшего предприятия русских того времени, получившей впоследствии название Камчатской экспедиции. При этом побудительной причиной организации Камчатских экспедиций была отнюдь не географическая любознательность и торговые соображения, а серьезные государственные интересы, связанные с расширением и укреплением границ, экономической и политической мощи Российского государства. Отдавая дань первым землепроходцам и покорителям морей, тем не менее следует понимать, что исследования в те времена носили исключительно описательный характер.

Впервые инструментальные измерения в Охотском море были проведены И.Ф. Крузенштерном и Ю.Ф. Лисянским во время первой русской кругосветной экспедиции на шлюпах «Надежда» и «Нева» в 1803–1806 гг. Исследования включали в себя наблюдения над течениями и приливами, измерения температуры и удельного веса морской воды (рис. 1).

Большой вклад в познание природы Охотского моря в XVIII в. внесли такие крупные ученые, как А.Ф. Миддендорф и Л.И. Шренк. Последний провел первое обобщение значительных океанографических материалов, накопленных экспедициями и торговыми судами, работавшими на Дальнем Востоке до 1854 г., и впервые дал схему общей циркуляции вод Японского и Охотского морей. Он выделил холодные и теплые течения, пытался выяснить причины различий климатических условий в разных местах побережий моря в связи с их физико-географическими особенностями и многие другие вопросы океанографии и биологии восточных морей.

Следующим важным этапом исследования Охотского моря, безусловно, является экспедиция знаменитого русского военного флотоводца и ученого-океанографа С.О. Макарова на парусно-винтовом корвете «Витязь» в 1986–1989 гг. (рис. 2). Во время кругосветного плавания, охватившего в том числе дальневосточные моря России, им были проведены наблюдения над течениями, температурой, удельным весом воды и другими океанографическими элементами. Результатом работы этого замечательного ученого-моряка явился капитальный труд «Витязь» и Тихий океан», представлявший на долгое время единствен-

ную справочную книгу по гидрологии вод северной части Тихого океана. С.О. Макаров развивает и уточняет выводы, полученные Л.И. Шренком, впервые приводит карты распределения температуры и удельного веса воды на поверхности в Охотском и Японском морях, указывает границы распределения льдов, отмечает наличие холодного промежуточного слоя в Охотском море, показывает характер водообмена Японского и Охотского морей через пролив Лаперуза (Макаров, 1950).

К.В. Морошкин, проводивший детальный анализ исторических материалов, пришел к выводу, что дан-

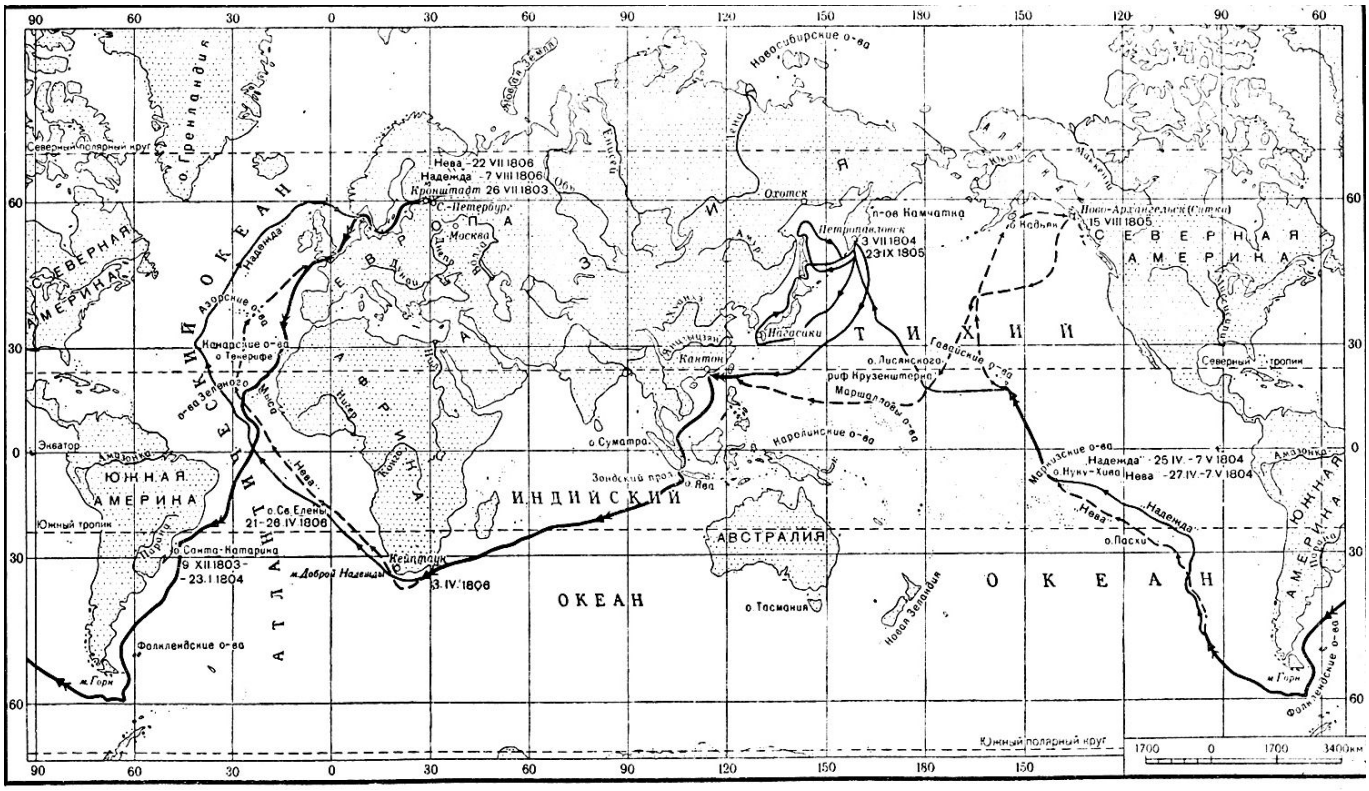

Рис. 1. Карта кругосветного плавания Крузенштерна и Лисянского на «Надежде» и «Неве» в 1803–1806 гг.
Fig. 1. Map of the circumnavigation of Kruzenshtern and Lisyansky on the “Nadezhda” and “Neva” in 1803–1806

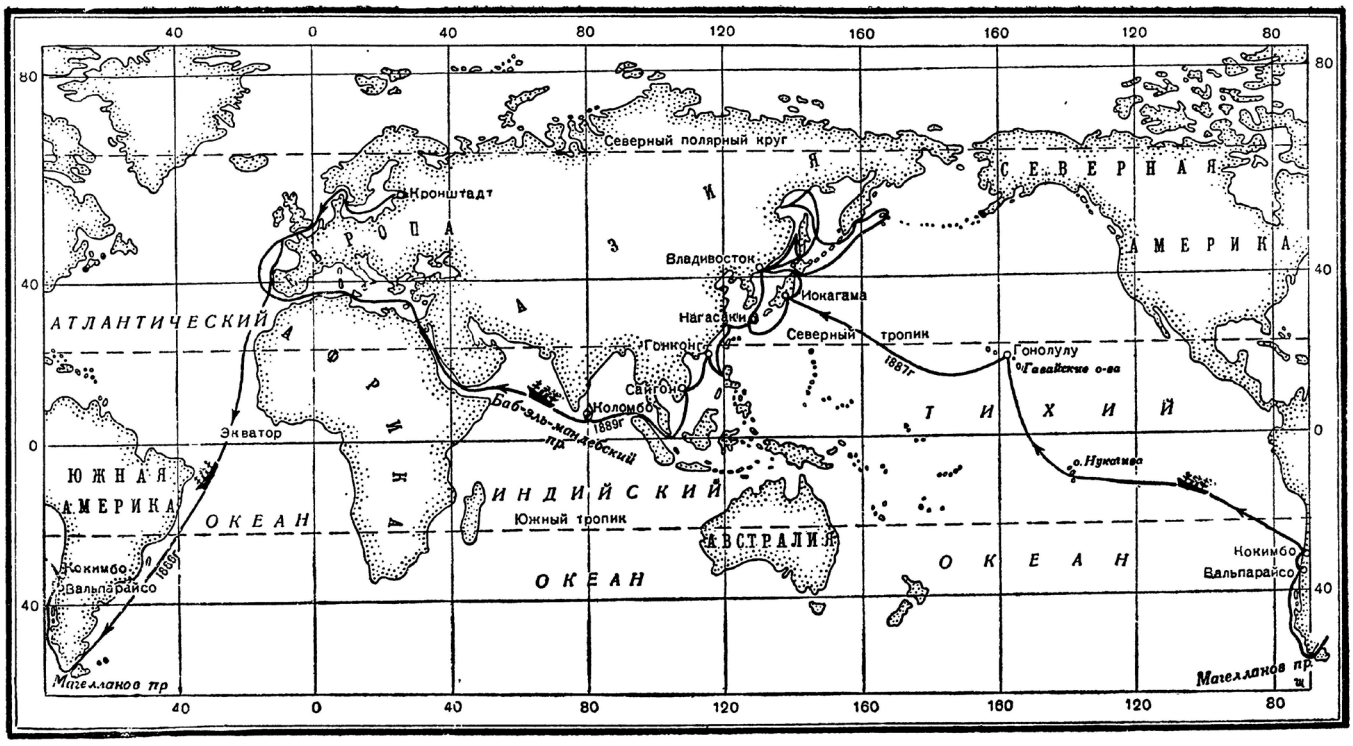

Рис. 2. Карта кругосветного плавания С.О. Макарова на корвете «Витязь» в 1886–1889 гг.
Fig. 2. Map of Makarov’s circumnavigation on the “Vityaz” corvette in 1886–1889

ные глубоководных наблюдений, выполненные до 1887 года, не следует использовать при анализе ввиду их недостаточной сравнимости. В связи с этим принято считать, что современная история глубоководных наблюдений на дальневосточных морях начинается с экспедиций первого «Витязя» под командованием вице-адмирала С.О. Макарова (Морошкин, 1963).

К началу XX столетия относится исследовательская деятельность Гидрографической экспедиции Восточного океана на судне «Охотск» под начальством М.Е. Жданко. Главной задачей экспедиции были картографические работы и опись берегов. В 1908 г. «Охотск» работал у западных берегов Камчатки и в северной части Охотского моря.

С 1914 г., после вступления в должность начальника Гидрографической экспедиции Восточного океана гидрографа-геодезиста Б.В. Давыдова, широкий размах в Охотском море и других дальневосточных морях приняли гидрографические исследования. В рамках этих работ собран огромный фактический материал не только по гидрографии и гидрологии, но и по фауне, флоре и ряду других разделов физической географии. На основе этого материала была составлена работа «Лоция побережий РСФСР, Охотского моря и восточного берега полуострова Камчатки с островом Карагинским включительно» (Давыдов, 1923), представляющая значительную ценность не только как навигационное руководство, но и как физико-географический справочник. В своем труде Б.В. Давыдов дает первую характеристику приливных явлений, схему общей циркуляции вод моря, схемы течений в отдельных заливах, губах и бухтах, направление преобладающих ветров, характерную для разных районов моря температуру воды и много других сведений, имеющих огромное значение для навигатора и океанографа.

Летом 1924 г. Гидрографическая служба на Дальнем Востоке, которая в 1923 г. стала называться Управлением по обеспечению безопасности кораблевождения на Дальнем Востоке (Убеко ДВ или Убекодальвост), возобновила гидрографические работы, прерванные гражданской войной. С 1924 по 1939 гг. большие океанографические работы на дальневосточных морях осуществляются под руководством Л.А. Демина, назначенного начальником отдельного гидрографического отряда Дальнего Востока. В 1930 г. впервые в истории советских исследований открытой части Охотского моря на советском сторожевом корабле «Красный вымпел» был сделан трансохотоморский гидрологический разрез между заливом Чайво на Сахалине и мысом Лопатка на Камчатке с 11 глубоководными станциями. В 1937 г. Л.А. Деминым на гидрографическом судне «Чукча» были выполнены исследования Тауйской губы и южных берегов Камчатки от Большерецка до мыса Шипунского с применением аэрофотосъемки, проведены прибрежный и судовой промеры, магнитные и гидрологические наблюдения. Результатом этих работ явились точные карты обследованных районов. Впоследствии в честь Л.А. Демина названа группа островов в Охотском море.

Подводя итог описанным этапам исследования дальневосточных морей, можно сделать вывод о практическом отсутствии систематических наблюдений над океанографическими характеристиками в восточной части Охотского моря. Частично они проводились в составе крупных экспедиций и при решении других важнейших для государства задач.

Иностранные исследования в Охотском море

После присоединения Русской Америки к Соединенным Штатам северная часть Тихого океана начинает усиленно изучаться с американской стороны. С этого времени увеличилось заселение западного побережья Северной Америки и развитие на нем торговли и морских промыслов. В 1853–1856 гг. американским правительством была организована крупная морская экспедиция из 5 судов, первоначально под командой капитана К. Рингольда, а позднее — капитана Дж. Роджерса, получившая название “U.S. North Pacific Exploring Expedition”. В качестве натуралиста в ней принимал участие В. Стимпсон, собравший богатые коллекции как по рыбам, так и по беспозвоночным. Одно из судов экспедиции, корвет “Vincennes” (USS Vincennes), заходило в Хакодате и Петропавловск и пересекло Берингово море до Берингова пролива; другое судно, “John Hancock” (USS John Hancock), посетило Камчатку, Пенжинскую и Тауйскую губы Охотского моря, подходило к устью Амура и безуспешно пыталось пройти проливом Невельского.

В 1890-е гг. в северо-западной части Тихого океана работало американское судно «Альбатрос» (USS Albatross), проводившее регулярные наблюдения над температурой и удельным весом воды на поверхности моря и собравшее значительные коллекции морских животных. Это паровое судно, принадлежавшее Комиссии рыболовства Соединенных Штатов, было прекрасно приспособлено для исследовательской работы, снабжено паровыми лебедками для тралов и для гидрологических работ, лабораториями для обработки первичного материала. В период экспедиции «Альбатрос» совершил рейс к Командорским островам, к берегам Камчатки, по Охотскому морю и к островам Японии. Одним из многочисленных результатов этого предприятия было открытие огромной

глубоководной впадины в южной части Охотского моря и добытые там глубоководные рыбы, описанные позднее американскими исследователями.

С 1915 г. изучением Охотского моря начинают заниматься японские океанографы и биологи. В 1915–1917 гг. в рамках японской океанографической экспедиции на судах «Унио-Мару» и «Танкай-Мару» под руководством проф. Марукава были выполнены обширные исследования, в результате которых получен богатый сравнительный материал, собиравшийся современными океанографическими методами (Дерюгин, 1928; рис. 3). С 1928 г. японские океанографические и рыбохозяйственные учреждения расширили сеть морских экспериментальных станций. В Охотском море их было немного по причине незначительного протяжения японских границ, в ту пору проходивших

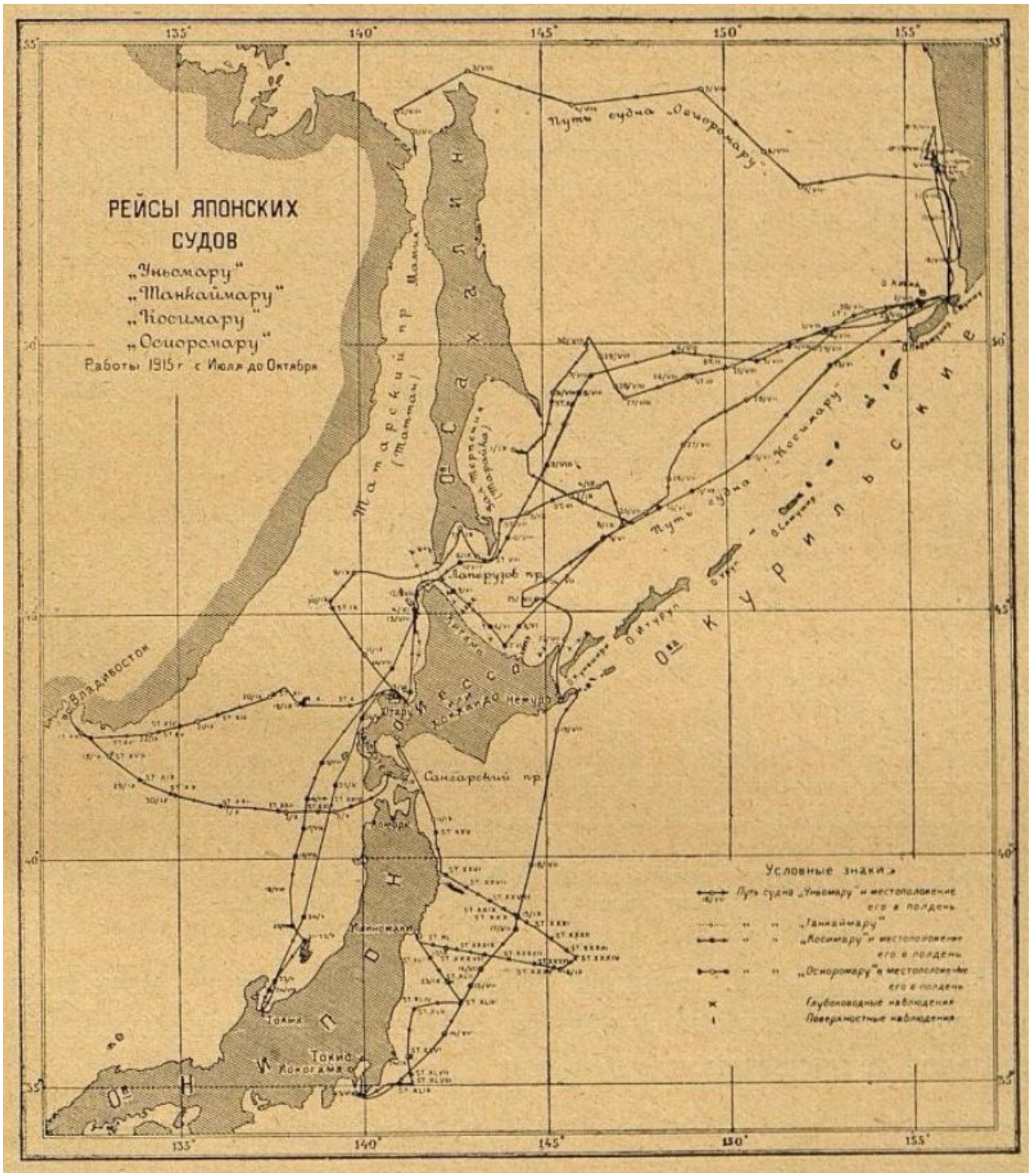

Рис. 3. Карта плаваний японских судов в 1915–1917 гг.
Fig. 3. Map of the voyages of Japanese ships in 1915–1917

вдоль Курильских островов и по юго-восточному берегу о. Сахалин, но и эти станции осуществляли более или менее регулярные океанографические наблюдения в южной части Охотского моря, из года в год, накапливая ценный материал (Дерюгин, 1930).

Океанографические исследования КамчатНИРО

Историческая справка об океанографических исследованиях КамчатНИРО (Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии) у Западной Камчатки основана на архивных материалах, собранных за весь период наблюдений (1937–2020 гг.). Специалистами лаборатории промысловой океанографии (с 2019 г. — сектора океанографии лаборатории рыбохозяйственной экологии) данные были переведены в цифровой формат с примечаниями о характере работ и исполнителях, где они были указаны. Всего в базу данных включено 20 356 океанографических станций из 390 рейсов (234 из которых — площадные съемки либо разрезы, без учета экспедиций «Витязя», данные которых также находятся в архиве КамчатНИРО), выполненных в период с 1937 по 2020 гг. Метаданные (дата, время, местоположение) по каждой станции проходили дополнительный контроль. Практически все данные получены при выполнении работ силами КамчатНИРО либо совместных съемок с ТИНРО (Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии) или ТУРНИФом (Тихоокеанское управление рыболовства и научно-исследовательского флота). Для характеристики базы данных ниже рассмотрим виды проведенных работ. Стоит также отметить и некоторые негативные моменты, связанные с утратой относительно небольшой части данных из архива. Всего таких рейсов по каталогу насчитывается 15.

Первыми и уникальными океанографическими материалами по Охотскому морю в районе Западной Камчатки из архива КамчатНИРО является информация рейсов парового траулера «Лебедь» (ТИНРО) и краболовного судна «Омар» (Кработрест) — всего 394 станции (рис. 4). По существу, эти данные не были

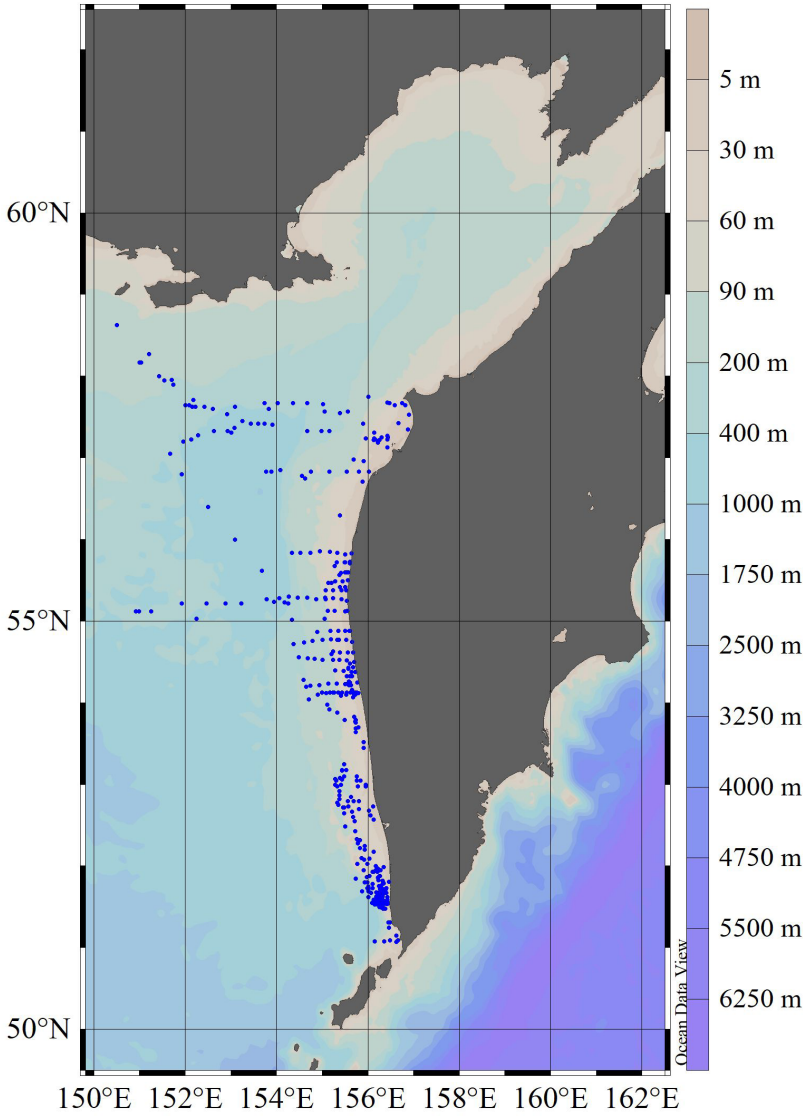

Рис. 4. Расположение океанографических станций, выполненных в 1937 г. на р/т «Лебедь» и краболовной шхуне «Омар»
Fig. 4. The grid of the stations for oceanographic measurements in 1937 on the fishing trawler “Lebed” and the crab fishing boat “Omar”

собраны сотрудниками КоТИРХ, что представляет еще больший интерес к тому, как оригинальные журналы наблюдений из двух совершенно разных экспедиций за отдельный год оказались в архиве КамчатНИРО. В распоряжении КоТИРХ в те годы имелись лишь весельная лодка, один кавасаки и старенькая парусно-моторная шхуна японской постройки с названием «Сосунов», на которых проводились исследования в прибрежных водах в основном в Авачинском и реже в Кроноцком заливах. В связи с этим рассмотрим более детально этот этап изучения Охотского моря.

С образованием на Дальнем Востоке в условиях установившейся Советской власти целого ряда научных организаций, в первую очередь ТОНС / ТИРХ и его отделений на Сахалине и Камчатке, изучение дальневосточных морей вышло на новый уровень, а в 1930-е годы прошлого столетия достигло беспрецедентных до этого масштабов.

В 1925 г. во Владивостоке, по предложению Дальревкома, под руководством профессора К.М. Дерюгина организована Тихоокеанская научно-промысловая станция (ТОНС) при Дальневосточном управлении рыбоводством. С преобразованием станции в Тихоокеанский научный институт рыбного хозяйства (ТИРХ) в 1929 г. основные усилия были направлены на изучение промысловых видов рыб и беспозвоночных в целях развития и рационализации рыбного хозяйства на Дальнем Востоке. Этого требовала начавшая интенсивно развиваться рыбная промышленность. В начальные годы своего существования, когда станция находилась в тесной связи с Государственным Гидрологическим институтом, ею было широко поставлено научное обследование не только ближайших к Владивостоку, но и отдаленных морских районов. Успешному развитию этого дела препятствовало отсутствие надлежащего оборудованного исследовательского судна. В том же 1929 г. в ТИРХ было предоставлено первое большое экспедиционное судно «Росинанте».

Мощная сырьевая база и блестящие результаты ярусно-поддевного (удебного) лова не могли не ориентировать дальневосточное рыбное хозяйство на организованное использование сырьевых запасов трески с помощью тралового промысла, тем более что этот вид промысла показал хорошие результаты на Мурмане.

В соответствии с этим, с 1929 г. на Дальний Восток начали прибывать прекрасно оборудованные плавучие заводы-траулеры. Так, осенью 1929 г. прибыли р/т «Дальневосточник» и «Баклан», которые сразу же направили в камчатские воды для опытного лова. В 1930 г. прибыло еще 4 судна. В результате за несколько лет на Дальний Восток было переброшено 20 траулеров.

В 1931 г., в связи с правительственными указаниями об освоении природных ресурсов советского Дальнего Востока и омывающих его морей, К.М. Дерюгин, уже в условиях работы объединенной Гидрометеорологической службы СССР, организует и лично руководит комплексной экспедицией ГГИ (Государственный гидрологический институт) и ТИРХ при участии Тихоокеанского Комитета Академии наук СССР в Японском море. В 1932–1934 гг. исследования дальневосточных морей достигли таких масштабов, которые до этого еще не имели места. В трех партиях, распределенных по дальневосточным морям, одновременно участвовало по два-три рыболовных тральщика. Приоритетной стояла задача поиска крупных промысловых тресковых скоплений, которые, по аналогии с Баренцевым морем, должны были находиться в местах уже обнаруженных на тот момент банок. Для этого даже прибыла прославленная на Мурмане группа специалистов по треске в составе И.И. Месяцева, А.Д. Старостина и Н.А. Маслова.

В составе Тихоокеанской комплексной экспедиции на р/т «Пластун» в 1932 г. работали будущие сотрудники КоТИРХ И.А. Полутов и М.Л. Альперович. Также в этой экспедиции принимал участие и К.И. Панин. Как вспоминает об этой экспедиции И.А. Полутов (КамчатНИРО — 85 (1932–2017), 2017, с. 37): «… районом работ на траулере «Пластун» было все западное побережье Камчатки и северная часть Охотского моря. Ихтиологические и гидрологические работы проводились на глубинах до 300 метров через каждые шестьдесят миль. В итоге была составлена карта уловов донных рыб (камбал) по глубинам и распределения поверхностных и придонных температур за июнь–август 1932 года, уточнены границы Явинской и Хайрюзовых камбальных банок. Ихтиологические и гидрологические данные, полученные на р/т «Пластун», были обработаны группой гидрологов во главе с М.М. Сомовым, впоследствии Героем Советского Союза. Все это было сведено в отчет “Пластун” в Охотском море”. Долгое время эти материалы оставались единственными по данному району».

С 1935 г. крупные научно-промысловые исследования были продолжены силами ТИНРО, в этом году работы проводились в северо-западной части Охотского моря в районе Шантарских островов на р/т «Лебедь» (Д.И. Охрямкин и П.А. Моисеев). В 1937–1939 гг. научно-промысловые исследования на том же корабле охватили обширный район у западного берега Камчатки (П.А. Моисеев и В.Д. Гордеев). Как отмечает А.Н. Заочный в «Годы и люди. 1932–2002 гг.» (2002), начальником рейса в 1937 г. был М.Л. Альперович, уже работавший на Камчатской станции ВНИРО, вероятно,

так оригинальные данные океанографических наблюдений и попали в архив КамчатНИРО.

Научные результаты Тихоокеанской комплексной экспедиции, проводившейся в 30-е гг. прошлого века, оказались впечатляющими. Были выявлены основные черты термической и химической стратификации, происхождения водных масс и их структуры, динамики морских течений, водообмена моря с Тихим океаном через Курильские проливы, макроструктурные особенности подводного рельефа и многие другие принципиально важные стороны гидрологического режима, заняв почетное место среди фундаментальных работ по гидрологии Охотского моря. Обнаружено большое количество новых форм морских организмов, установлены многие закономерности их биологии и распространения, на базе чего сделаны крупные фаунистические и зоогеографические обобщения. В итоге была существенно расширена сырьевая база российской рыбной промышленности, что изменило ранее несколько сдержанные представления на перспективы развития морского рыболовства в Дальневосточном регионе.

Тем не менее приоритетная задача, направленная на обнаружение крупных скоплений трески в дальневосточных морях, была провалена, и траловый лов трески признан нерентабельным. Дальтралтрест, объединявший и регулировавший работу траулеров, расформировали. Часть судов, ориентированных на промысел трески, перебросили обратно на Мурман, а остальные передали различным организациям — АКО (Акционерное Камчатское Общество), ДГРТ (Дальгосрыбтрест), Крабтресту и т. п.

В 1930-е годы в Японском и Охотском морях активно велись разведка и промысел беспозвоночных, прежде всего камчатского краба, с сопутствующими научными изысканиями. В ТИРХ в 1931 г. после окончания Московского государственного университета был направлен Л.Г. Виноградов, в последующем известный специалист по этому объекту, доктор биологических наук, профессор. Именно при участии этого ученого и А.М. Волка был собран океанографический материал у Западной Камчатки на крабовом разведчике «Омар» в количестве 92 станций, который находится в архиве КамчатНИРО.

По завершении комплексной Тихоокеанской экспедиции, в 40-е годы наступил спад в исследовании дальневосточных морей, связанный с наступлением Великой Отечественной войны и последующим восстановлением хозяйства. Лишь в 1949 г. снова началось интенсивное изучение.

Одной из ярчайших страниц в изучении дальневосточных морей в послевоенный период, безусловно, являются экспедиции «Витязя», организованные Институтом океанологии АН СССР. В них приняли участие 43 ведомства и учреждения, из которых в первую очередь следует выделить Дальневосточный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Приморское управление гидрометслужбы, Тихоокеанский институт рыбного хозяйства и океанографии и Гидрографическое управление ВМФ. За период проведения исследовательских комплексных работ в дальневосточных морях, с 1949 по 1957 гг., «Витязь» сделал 25 рейсов. Кроме Японского, Охотского и Берингова морей, исследованиями были охвачены прилегающие к этим морям обширные открытые районы северо-западной части Тихого океана. С 1949 по 1957 гг. «Витязь» прошел около 200 000 морских миль и произвел свыше 4000 океанографических станций. По результатам наблюдений на НИС «Витязь» в Тихом океане была подготовлена многотомная монография «Тихий океан» (1966–1974 гг.). Редакционная коллегия этого издания состояла из крупнейших советских океанологов: В.Г. Корта (гл. редактора), В.Г. Богорова, С.В. Бруевича, П.Л. Безрукова, А.Д. Добровольского, Л.А. Зенкевича, В.С. Самойленко. На востоке Охотского моря «Витязь» работал с 1949 по 1952 гг. и выполнил 424 океанографических станции (рис. 5), эти данные есть в архиве КамчатНИРО.

Не умаляя заслуг крупнейших исследований «Витязя», в тот же период времени в дальневосточных морях, и Охотском море в частности, развернулись масштабные рыбохозяйственные работы. Практически основы всех современных исследований были заложены именно в то время. Исследования в районе Западной Камчатки, как и сейчас, в основном объеме проводились силами ТИНРО и КоТИНРО. Камчатскому отделению, по настоянию директора И.И. Лагунова, убежденного в необходимости самостоятельных морских исследований, из Владивостока был передан СРТ «Аметист». Всего на этом судне с 1952 по 1967 гг. выполнено 12 рейсов в восточную часть Охотского моря, в которых проведены наблюдения на 288 океанографических станциях.

С начала основания КоТИРХ одним из основных морских направлений работы Камчатского отделения ТИНРО было проведение биологических исследований донных и пелагических рыб, которым занимался сектор сырья. Суда для научных изысканий выделяло Управление тралового флота Главкамчатрыбпрома. Первоначально, практически с момента основания КоТИРХ, сбор гидрологической информации обеспечивали сотрудники Камчатской морской станции ГГИ: гидробиолог и гидролог Н.Н. Спасский (позже перешел в Ко-

ТИНРО), гидролог М.Ю. Бекман, гидрохимик О.А. Фишман. С 1937 по 1941 гг. в составе Камчатской станции ВНИРО работал молодой гидролог Д.П. Пикин.

В 1940-е и последующие годы к проведению совместных работ приглашали сотрудников Камчатского управления гидрометслужбы Баранова, Бажана и Куцых. Техник-гидролог А.Г. Куцых впоследствии перешел на работу в КоТИНРО и проработал в институте до глубокой пенсии.

В 1952 г. Камчатское отделение ТИНРО приступило к организованному сбору икры и личинок морских рыб с борта исследовательского тральщика «Аметист». Сборы ихтиопланктона проводились при всех научно-промысловых и гидрологических исследованиях (Полутов, Трипольская, 1954). С началом специализированного промысла минтая в 1963 г., считавшегося до этого «сорной» рыбой, возникла необходимость в усилении изучения этого важнейшего в настоящее время ресурса. Так, в 1971 г., предполагая возможность определения величины запасов минтая по количеству развивающейся в толще воды икры, проводится первая их-

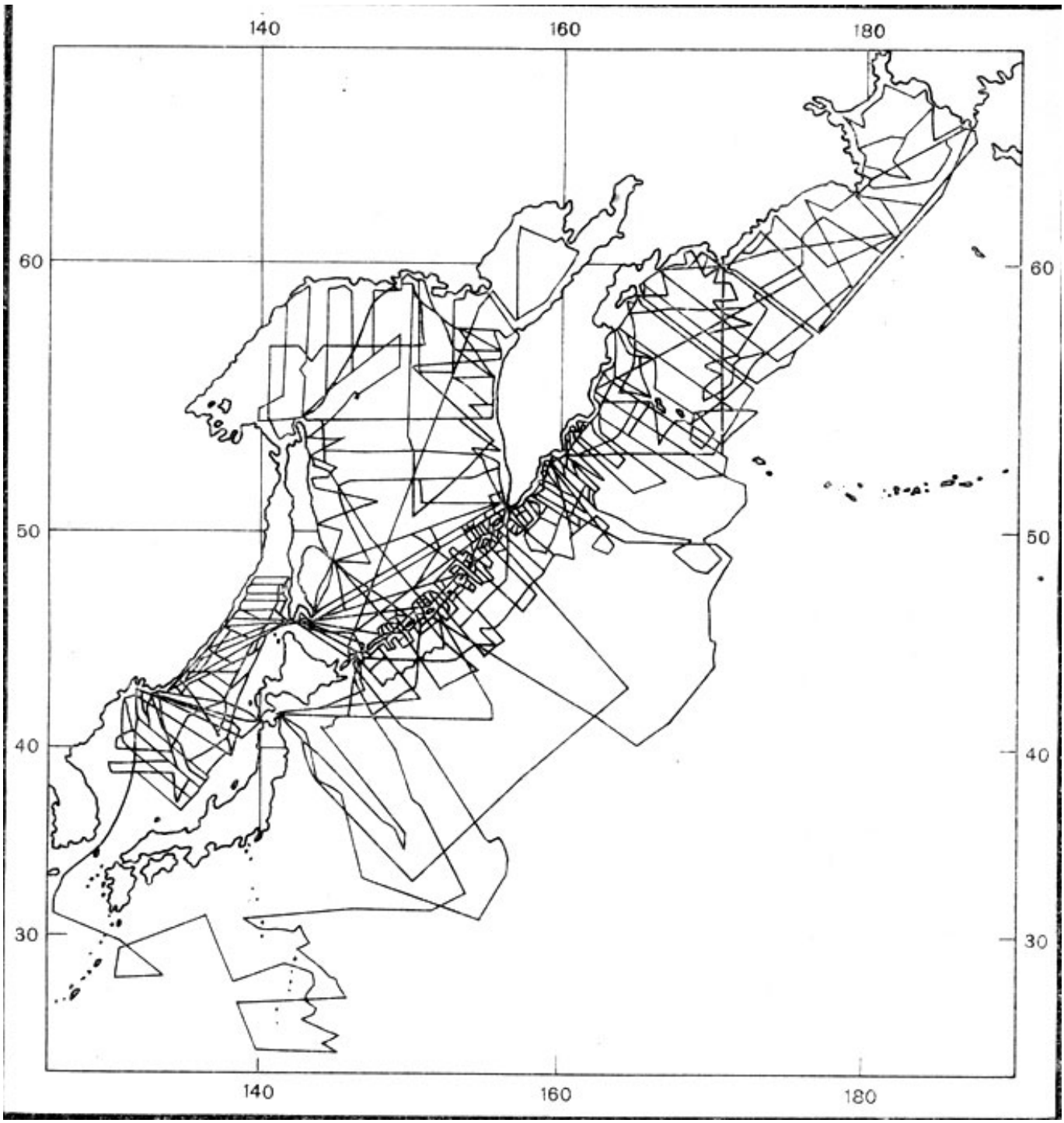

Рис. 5. Экспедиции на научно-исследовательском судне «Витязь» в 1949–1957 гг.
Fig. 5. Expeditions on the research vessel “Vityaz” in 1949–1957

тиопланктонная съемка в Беринговом море, а в 1972 г. — в Охотском море.

Ввиду того, что в конце 1960-х гг. переданный КоТИНРО «Аметист» был отозван во Владивосток, а начатые в море исследования с использованием этого судна пришлось прекратить, для работ стали чаще использоваться промысловые тральщики Главкамчатрыбпрома, а с 1970-х гг. — исследовательские суда ТУРНИФ. По поводу отзыва во Владивосток «Аметиста» И.И. Лагунов отмечал, что эта акция со стороны центрального института негативно отразилась на работе КоТИНРО.

Изучение морского периода жизни тихоокеанских лососей началось в лаборатории воспроизводства лососей КоТИНРО в 1955 г. — первый экспериментальный дрифтерный лов лососей. В августе 1960 г. И.Б. Бирманом была организована лаборатория морских исследований лососей. В составе лаборатории работали гидрологи по образованию В.Г. Чужих и А.К. Мальцев, принимавшие участие в сборе и обработке гидрологических данных.

В 1955 г. при КоТИНРО создана лаборатория гидрологии и гидробиологии, в 1956 г. она преобразована в лабораторию кормовой базы и промысловой океанографии. В 1960 г. в лабораторию пришли сразу два специалиста-океанолога — В.П. Кузнецов и Ф.Ф. Липецкий. В августе 1971 г. из лаборатории кормовой базы и промысловой океанографии была образована в виде отдельного подразделения лаборатория промысловой океанографии, которую возглавил И.В. Давыдов. Все сотрудники лаборатории принимали непосредственное участие в сборе и обработке накопленной и поступающей океанографической информации. Необходимо также отметить, что колоссальный вклад в сбор информации внесли гидрологи ТУРНИФ, ходившие в рейс совместно со специалистами КоТИНРО.

В последующий период времени до современных исследований КамчатНИРО сохранились основные направления морских работ. Сбор океанографической информации осуществлялся в научно-промысловых рейсах, съемках по учету лососевых видов рыб, ихтиопланктонных и донных траловых съемках. Многие масштабные работы проводились при совместном участии со специалистами ТИНРО (Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО») на судах БИФ–ТИНРО.

Характеристика электронной базы океанографических данных КамчатНИРО и их доля в общем объеме накопленной информации

Всего в океанографической базе КамчатНИРО находятся данные наблюдений на 20 356 океанографических станциях, выполненных в период с 1937 по 2020 гг. (рис. 6В). В межгодовом распределении данных (рис. 6А) основная доля приходится на периоды с 1960 по 1990 гг. и с конца 1990-х по 2020 гг. В годовой изменчивости отчетливо выделяются два сезонных пика: весенний, связанный с проведением ихтиопланктонных съемок, и летний, когда проводятся донные траловые съемки и исследования по учету молоди лососей.

Чтобы оценить вклад данных КамчатНИРО (в том числе совместных с ТИНРО) в общем объеме океанографической информации по восточной части Охотского моря, сопоставим их с объемом собранного материала двух крупнейших научных учреждений Дальнего Востока — Дальневосточного регионального научно-исследовательского института (ДВНИГМИ) и Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева (ТОИ ДВО РАН).

В.А. Лучин характеризует работы главных дальневосточных научных центров следующим образом (Гидрометеорология и гидрохимия морей, 1998, с. 92): «Со второй половины 70-х годов возрождаются комплексные и широкомасштабные океанографические исследования Охотского моря, связанные с государственными проектами “Шельф” и “Моря”. Наблюдения проводятся как летом, так и в зимнее время преимущественно научно-исследовательскими судами Росгидромета. Возрастает объем и качество наблюдений ТИНРО–ТУРНИФ (Тихоокеанское управление рыболовства и научно-исследовательского флота), которые выполняют сравнительно регулярные исследования на значительных участках акватории моря. Экспедиционные суда РАН и Гидрографической службы КТОФ ограничиваются попутными и узкоспециализированными наблюдениями».

Количество океанографических станций, выполненных ДВНИГМИ в Охотском море за весь период исследований (1959–2021 гг.), составило 12 722 станции (официальный сайт ДВНИГМИ: http://www.ferhri.ru/). И это касается всей акватории моря, а не его восточной части. При этом в последние годы работы ограничивались комплексными экологическими исследованиями у северо-восточного побережья Сахалина на лицензионных участках недр федерального значения, и лишь в 2021 г. были выполнены наблюдения аналогичного характера на Западно-Камчатском лицензионном участке.

Приблизительный объем данных ТОИ РАН можно оценить по общей схеме станций, представленной на рисунке 7. Как отмечал В.А. Акуличев в своем докладе, посвященном 75-летию академической науки на Дальнем Востоке России (Акуличев, 2007), за 35 лет в экспедициях, организованных институтом,

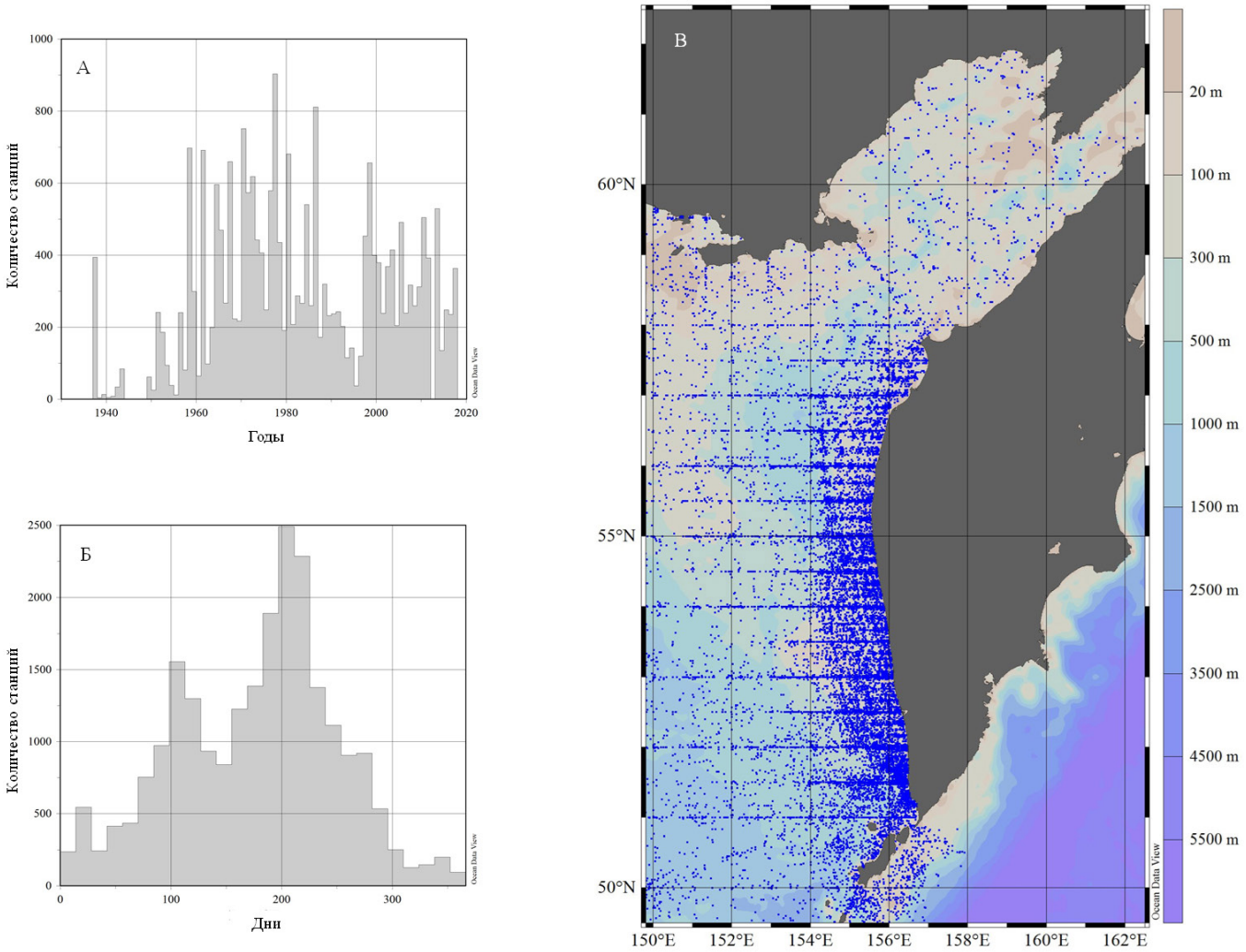

Рис. 6. Пространственно-временное распределение океанографических станций, выполненных КамчатНИРО в 1937–2020 гг.
Fig. 6. Spatio-temporal grid of stations for oceanographic measurements carried out by KamchatNIRO in 1937–2020

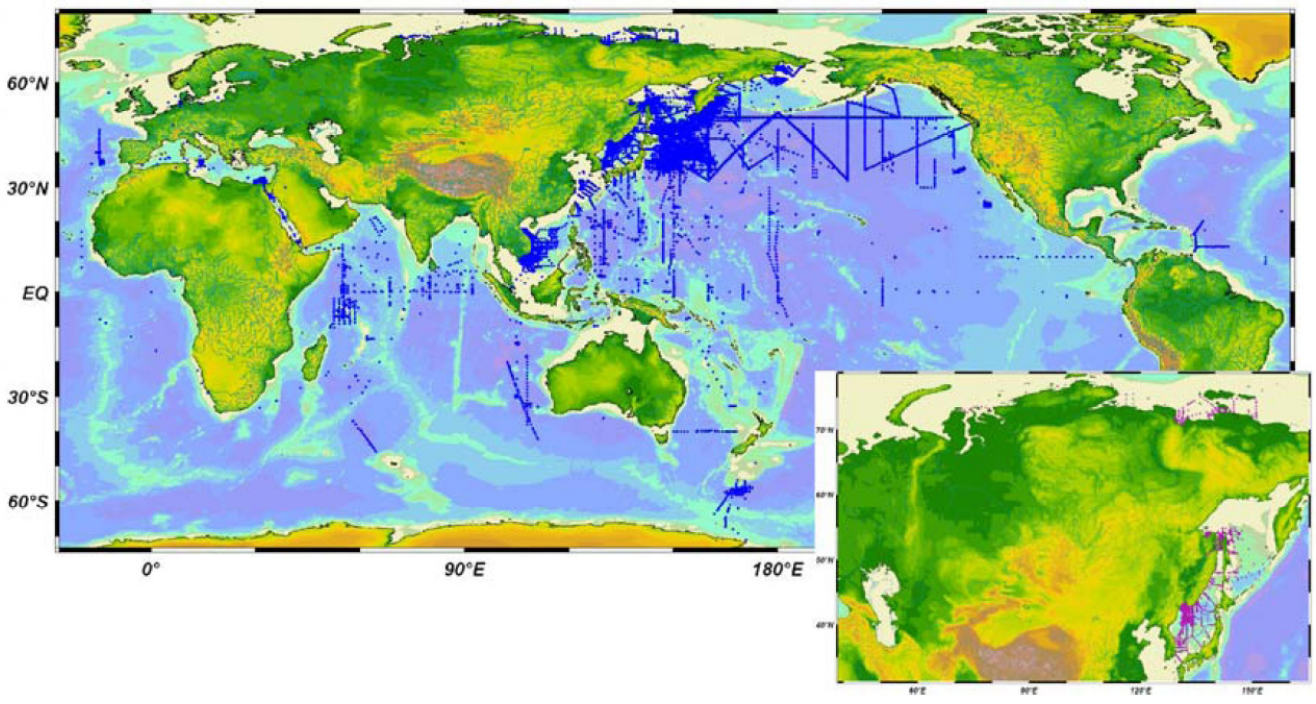

Рис. 7. Схема расположения станций морских экспедиций ТОИ ДВО РАН (до 2007 г.). Справа внизу показаны экспедиции 2000–2007 гг.
Fig. 7. Schematic distribution of stations of marine expeditions of POI FEB RAS (until 2007). Bottom right shows the 2000–2007 expeditions

выполнено более 28 000 гидрологических станций. Пространственный масштаб работ оказался очень большим и охватывал многие районы Мирового океана. Очевидно, что на востоке Охотского моря был выполнен относительно небольшой объем океанографических исследований.

Таким образом, с одной стороны, объем данных, собранных этими учреждениями, значительно меньше материалов, накопленных в КамчатНИРО и ТИНРО, а с другой, ни в коем случае нельзя недооценивать количество и качество этих данных. В совокупности все они представляют огромную ценность для исследователей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История океанографических исследований КамчатНИРО напрямую связана с программами и темами научно-исследовательских работ по изучению водных биологических ресурсов. На начальных этапах это были, как правило, научно-промысловые рейсы и экспедиции промысловой разведки. Впоследствии, по мере накопления знаний о биологии основных промысловых объектов и совершенствования методических аспектов, исследования перешли на уровень тематических и зачастую комплексных съемок.

В КамчатНИРО находится уникальный архив океанографических данных по восточной части Охотского моря, превосходящий по объему данные большинства других научных организаций и учреждений.

Архив содержит ценную историческую информацию о характере научных работ, исследователях и измерительных средствах, которые определяют особенности пространственно-временной структуры базы данных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Акуличев В.А. 2007. Исследования Тихого океана и дальневосточных морей России // Доклад на торжест. заседании, посвящ. 75-летию академич. науки на Дальнем Востоке России (25 октября 2007 г.). 24 с.

Верхунов А.В. 1997. Развитие представлений о крупномасштабной циркуляции Охотского моря // Компл. исслед. экосистемы Охотского моря. М.: ВНИРО. С. 8–19.

Власова Г.А. 2013. История океанографических исследований в Охотском море с XVII в. и до наших дней // Вопр. истории естествознания и техники. № 2. С. 56–66.

Гидрометеорология и гидрохимия морей. 1998. Т. 9: Охотское море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат. 340 с.

Годы и люди. 1932–2002 гг. 2002. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 238 с.

Давыдов Б.В. 1923. Лоция побережий РСФСР, Охотского моря и восточного берега полуострова Камчатки с островом Карагинским включительно / По поручению Гл. гидрол. упр. Сост. гидрограф-геодезист Давыдов. Владивосток: Упр. по обеспечению безопасности кораблевождения Дал. Востока. 1498 с.

Дерюгин К.М. 1928. Некоторые результаты научно-промысловых исследований в Охотском море, осуществленных в 1915–1917 гг. под руководством профессора Марукава // Изв. Тихоокеанской научно-промысловой станции. Т. 1. Вып. 1. С. 325–328.

Дерюгин К.М. 1930. Японские гидрологические исследования в Японском и Охотском морях // Записки по гидрографии. Т. 59. С. 35–51.

КамчатНИРО – 85 (1932–2017). 2017. Воспоминания. Стихи. Рассказы / Составители: В.Ф. Бугаев, М.В. Варкентин, Ю.А. Кудлаева. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. 280 с.

Леонов А.К. 1960. Региональная океанография. Ч 1. Берингово, Охотское, Каспийское и Черное моря. Л.: Гидрометеоиздат. 766 с.

Макаров С.О. 1950. «Витязь» и Тихий океан». Океанографические работы (Под ред. Н.Н. Зубова, А.Д. Добровольского). М.: Географгиз. С. 95–240.

Морошкин К.В. 1963. Многолетние гидрологические наблюдения в Охотском море // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 13. С. 64–78.

Полутов И.А., Трипольская В.Н. 1954. Пелагическая икра и личинки морских рыб у берегов Камчатки // Изв. ТИНРО. Т. 41. С. 295–308.

Хен Г.В., Мороз И.Ф. 2005. Океанографические исследования в ТИНРО-Центре // Изв. ТИНРО. Т. 141. С. 297–324.

Шунтов В.П. 1994. Зигзаги рыбохозяйственной науки (субъективные заметки). Владивосток: ТИНРО. 368 с.

УДК 574.58

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ОЗЕРА СЛОНОВОГО ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ О. САХАЛИН В 2020 Г., В ПЕРИОД ЕГО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ВЕСНЫ

Анна Евгеньевна Лапшина, Денис Сергеевич Заварзин, Наталия Кирилловна Заварзина, Татьяна Георгиевна Коренева, Егор Сергеевич Корнеев, Вячеслав Степанович Лабай, Ирина Викторовна Мотылькова, Ольга Николаевна Мухаметова

Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия, cherevataya@gmail.com

Аннотация. Впервые произведено исследование компонентов экосистемы озера Слоновое (Восточный Сахалин). Сбор проб осуществлялся в конце июня 2020 г., когда в озере еще продолжалась биологическая весна. Описан видовой состав фитопланктона, зоопланктона, ихтиопланктона, бентоса и ихтиофауны озера, представлены результаты гидролого-гидрохимических исследований.

Ключевые слова: Сахалин, пресноводная экосистема, гидрология, гидрохимия, планктон, макробентос, ихтиофауна

RESULTS OF STUDYING ECOSYSTEM COMPONENTS AND WATER CHEMICAL COMPOSITION OF THE LAKE SLONOVOE (EAST SAKHALIN) IN 2020 DURING ITS BIOLOGICAL SPRING

Anna E. Lapshina, Denis S. Zavarzin, Natalija K. Zavarzina, Tatiana G. Koreneva, Egor S. Korneev, Vjacheslav S. Labay, Irina V. Motylkova, Olga N. Moukhametova

Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, cherevataya@gmail.com

Abstract. For the first time, a study of the Slonovoye Lake ecosystem components (East Sakhalin) was carried out. The samples were collected at the end of June, when biological spring had not yet ended in the lake. Species composition of phytoplankton, zooplankton, ichthyoplankon, benthos and ichthyofauna is described, results of hydrochemical analysis are demonstrated.

Keywords: Sakhalin Island, freshwater ecosystem, hydrology, hydrobiology, plankton, macrobenthos, ichthyofauna

Оз. Слоновое — пресноводное озеро лагунного происхождения в междуречье рек Ольдон и Борисовка севернее м. Беллинсгаузена на восточном побережье о. Сахалин. Площадь водоема — 1,6 км^2. Водосборная площадь — 6,1 км^2. Максимальная протяженность — около 2 км, максимальная ширина — около 1 км, глубина — до 12 м. Связь с морем утрачена в результате поднятия побережья. Являясь пресным и бессточным, озеро питается снеговыми и дождевыми осадками. Не исключена возможность его периодического соединения с р. Ольдон в периоды паводка.

В связи с отсутствием литературных данных, все материалы статьи являются результатом натурных наблюдений, осуществленных сотрудниками Сахалинского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО») в период с 25 по 27 июня 2020 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сбор проб осуществлялся в конце июня 2020 г., когда в оз. Слоновом еще продолжалась биологическая весна. Для проведения исследования было собрано по 6 проб фитопланктона, зоопланктона и ихтиопланктона, 15 проб бентоса, 5 проб для исследования ихтиофауны и выполнено 3 комплексных станции

в центральной, южной и северной частях озера для оценки гидролого-гидрохимических условий.

С помощью батометра Нискина отобрано более 80 проб воды, анализ которых осуществляли на базе аккредитованной лаборатории СахНИРО. Температуру и водородный показатель измеряли pH-метром MA-130 («MettlerToledoGmbH»), прозрачность — диском Секки. Отбор проб и определение содержания гидрохимических показателей осуществляли стандартными методами с использованием аттестованных методик, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения природной среды. Качество воды оценивали с применением нормативов качества для воды водных объектов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{рх}$) (Приказ Минсельхоза.., 2016). Значения показателей, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК), сравнивали с нормативами качества воды для промышленного водоснабжения лососевых рыбоводных заводов (Нормы технологического проектирования.., 1986) и для воды рыбоводных форелевых хозяйств (Вода для рыбоводных хозяйств.., 1987). Экологическую классификацию вод выполняли в соответствии с общепринятыми методиками (Оксиюк и др., 1993; ГОСТ 17.1.2.04–77).

Пробы фитопланктона отбирали батометром Нискина из поверхностного горизонта воды. В качестве консерванта использовали 2%-й раствор формальдегида. Концентрировали пробы с помощью воронки обратной фильтрации через нуклеопоровые лавсановые фильтры диаметром пор 3 мкм (Федоров, 1979; Радченко и др., 2010). Идентификацию видов и подсчет клеток проводили на световом микроскопе Leica в камере Нажотта. Определение организмов велось по имеющимся атласам и монографиям (Водоросли.., 2006; Диатомовые.., 1974, 1988; Lange-Bertalot, 2001). Биомассу рассчитывали с учетом численности микроводорослей и средних клеточных объемов, приравнивая клетки водорослей к определенным геометрическим фигурам (Макарова, Пичкилы, 1970).

Для количественного учета зоо- и ихтиопланктона проводили тотальный лов от дна до поверхности на шести станциях с помощью малой модели сети Джеди с диаметром входного отверстия 18 см и номинальным размером отверстий газа 114 мкм и ИКС 50 с номинальным размером отверстий газа 335 мкм. Фиксировали пробы 4%-м формалином. Обработку проб зоопланктона проводили общепринятым счетным методом (Свирская, 1987). Для более полного учета мелких коловраток применяли поправки на уловистость: для *Keratella* — 7, для *Polyarthra* — 9,2, для *Ploesoma truncatum* — 3 (Семенова, 2011). Для обработки проб использовали микроскопы Olympus BX51 и SZX10. Камеральную обработку проб ихтиопланктона проводили в соответствии со стандартными методиками (Расс, 1965; Расс, Казанова, 1966; Рекомендации.., 1987; Методические рекомендации.., 2016). Для видовой идентификации икры и личинок использовали специализированные атласы и определители (Перцева-Остроумова, 1961; An Atlas.., 1988; Matarese et al., 1989; Григорьев, 2007; Соколовский, Соколовская, 2008; Identification of eggs.., 2011; Воскобойникова и др., 2012).

Отбор проб бентоса осуществляли в соответствии с существующими методиками (Эллиотт и др., 1981; Руководство.., 1983). Исследования проводили с лодки утяжеленным стандартным дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,025 м^2 — по три пробы со станции. Пробы промывали через набор сит, последнее из которых имело ячею не более 1 мм. Малощетинковые черви, моллюски и ракообразные фиксировались 75%-м этиловым спиртом, остальные беспозвоночные — 4%-м формалином.

При описании количественных параметров зоопланктона и бентоса применялись следующие параметры: численность (*N*); биомасса (*B*); относительная биомасса (*B*, %); частота встречаемости (*ЧВ*, %). Определяющим при структуризации сообществ был коэффициент относительности (*КО*), рассчитываемый как произведение относительной средней биомассы на частоту встречаемости (Палий, 1961) и имеющий четкое ограничение максимально возможной величиной 10 000. При вычислении значимости отдельной формы и для более полной количественной характеристики учитывали вклад каждой формы в создание средней общей *B*, *ЧВ* и *КО* при превалировании *КО*. Форма считалась доминирующей, если значение *КО* попадало в предел 10 000–1000; характерной 1-го порядка — 1000–100; характерной 2-го порядка — 100–10; второстепенной 1-го порядка — 10–1; второстепенной 2-го порядка — менее 1.

Обловы для исследования ихтиофауны проводили с помощью активных (закидной невод и мальковая волокуша) и пассивных (ставные сети, рыболовные морды) орудий лова. В каждом улове рыб разбирали по видам, определяя количество и общий вес рыб каждого вида. В ходе полного биологического анализа (Правдин, 1966) измеряли длину рыб до конца чешуйного покрова (AD) и по Смитту (AC), массу тела (общую и без внутренностей), визуально определяли пол и стадии развития гонад и степень наполнения желудка в баллах. Возраст кунджи определяли по отолитам, малоротой корюшки — по чешуе.

Расчет удельной численности (N, экз./м^2) и биомассы рыб каждого вида (B, г/м^2) проводили по уловам активными орудиями лова с учетом обловленной площади. Площадь облова считали по формуле $S = a \times b$, где a — рабочее раскрытие, b — длина замета (для волокуши) или длина ваеров (для невода). Коэффициент уловистости приняли равным 0,5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гидролого-гидрохимические условия. Во время исследований уровни всех изученных показателей изменялись в узком интервале значений (табл. 1) и в большинстве случаев удовлетворяли предъявляемым требованиям к качеству вод (Приказ Минсельхоза…, 2016; Нормы технологического проектирования…, 1986; Вода для рыбоводных хозяйств…, 1987). Вода в озере характеризовалась невысокой прозрачностью (2,5 м), отсутствием цветности (менее 5 град.) и запаха. Содержание растворенного кислорода в среднем составляло 11,21 ± 0,36 мг/дм^3, что соответствует 100%-му насыщению воды. Водородный показатель составлял в среднем 7,60 ± 0,10 ед., что несколько выше, чем характерные для рек Восточного Сахалина значения pH — 6,8–7,5 (Ежегодные данные.., 1986; 1988; 1989). Содержания биогенных, взвешенных и загрязняющих веществ были низкими и преимущественно находились ниже чувствительности используемых методов. Содержание аллохтонных органических веществ (ОВ), идентифицируемых по величинам БПК$_5$ (1,53 ± 0,40 мг/дм^3) и ПО (4,0 ± 0,4 мгО/дм^3), было невысоким, тогда как концентрация автохтонных ОВ, исходя из значений БПК$_{20}$ (4,3 ± 1,1 мг/дм^3) и ХПК (18,0 ± 5,4 мгО/дм^3), была значительно (в 2,8–4,5 раз) выше. Повышенный уровень концентрации общего железа, в 2 раза превышающий рыбохозяйственный норматив (0,5 мг/дм^3) в воде центральной станции (0,103 ± 0,015 мг/дм^3), был приурочен к максимуму величины БПК$_{20}$. Это обусловлено устойчивостью солей железа в составе органических соединений, что подтверждается выявленной между ними высокой степенью корреляции (Лозовик и др., 2006).

Характеристика фитопланктона. В составе фитопланктона было обнаружено 63 вида микроводорослей из семи отделов: Chlorophyta (21 вид), Bacillariophyta (20), Cyanobacteria (8), Ochrophyta (6), Miozoa (5), Euglenozoa (2), Cryptophyta (1). Весеннюю

Таблица 1. Значения гидролого-гидрохимических показателей в оз. Слоновом
Table 1. The values of hydrological and hydrochemical indicators in the Lake Slonovoe

Параметры	Диапазон значений	Нормативы качества воды, в т. ч. ПДК		
		ПДК$_{рх}$*	Требования к качеству**	Нормативные значения***
Температура, °С	10,4–10,9	Не более 20 °С летом	Не более 20 °С	Не более 20 °С
Водородный показатель (pH), ед. pH	7,54–7,65	Должен соответствовать фоновому значению	7–8	7,0–8,0
Интенсивность запаха при 20 и при 60 °С, (балл)	Отсутствует, (0)	–	Вода не должна иметь запаха, привкуса и окраски и придавать их мясу рыб	
Интенсивность вкуса и привкуса, балл	Вкус и привкус очень слабые, (1)	–		
Прозрачность, м	2,5	–	1,5 и более	1,5 и более
Цветность, град.	<5	–	30	30
Взвешенные вещества, мг/дм^3	менее 3,0–3,6	–	10	10
Растворенный кислород мг/дм^3	11,14–11,28	Не ниже 6,0	7–8	Не ниже 9,0
Растворенный кислород % нас.	99,7–102,2	–	–	–
Сероводород, мкг/дм^3	<2,0	–	Отсутствие	Отсутствие
Аммиак, мг/дм^3	<0,0004	0,05	0,01	0,05
Перманганатная окисляемость, мгО/дм^3	3,7–4,4	–	5–15	10
БПК$_5$, мг/дм^3	1,40–1,69	2,1	2	2,0
БПК$_{20}$, мг/дм^3	3,40–4,85	3,0	3	3,0
ХПК, мгО/дм^3	17,0–18,8	–		30,0
Нитритный азот, мг/дм^3	0,0018–0,0020	0,02	0,01	0,02 (0,006 по N)
Нитратный азот, мг/дм^3	<0,005	9	1,0	1,0 (0,2 по N)
Азот аммонийный, мг/дм^3	<0,02	0,4	0,5	0,5 (0,4 по N)
Фосфаты, мг/дм^3	0,020–0,025	0,15–0,6	0,2	0,3
Железо общее, мг/дм^3	0,082–0,103	0,5	0,3	0,5
Общая щелочность, ммоль/дм^3	0,421–0,422	–	1,8–2,0	–
Жесткость общая, °Ж	0,554–0,572	–	8–12	–
Углекислота свободная, мг/дм^3	<5,0	–	10	10,0
Хлориды, мг/дм^3	10,7	300	5	–
Сульфаты, мг/дм^3	<10,0	100	5	–
Мышьяк, мг/дм^3	<0,005	0,05	0,05	–
Фенолы, мг/дм^3	0,0005–0,0011	0,001	0,001	–
Нефтепродукты, мг/дм^3	<0,005	0,05	0,05	–

Примечание: *Приказ Минсельхоза.., 2016; **Нормы технологического проектирования.., 1985; ***Вода для рыбоводных хозяйств.., 1987 (2021); знак «–» означает, что норматив качества не установлен.

флору оз. Слонового можно охарактеризовать как зелено-диатомовую со значительным вкладом цианобактерий, что типично для большинства озерных экосистем умеренной зоны (Шаров, 2020). Большинство обнаруженных зеленых водорослей относились к порядку Sphaeropleales, диатомовых — Bacillariales, цианобактерий — Synechococcales и Chroococcales. В планктоне было встречено значительное количество вегетативных форм и цист охрофитовых водорослей. Все обнаруженные виды являются космополитами.

По типу местообитания преобладали планктонные формы (46%), по отношению к pH — индифференты (53%). Среди водорослей – индикаторов сапробности основную часть составляли β-мезосапробы (51%), второе место занимали о-β-мезосапробы (21%), третье — о-сапробы (10%).

Численность варьировала в пределах 5,689–30,689 млн кл./л (при среднем значении 15,568 млн кл./л), биомасса — 1,70–4,53 г/м^3 (2,95 г/м^3). Основу численности составляли хроококковые цианобактерии (70%) и колониальные диатомовые (22%), биомассы — диатомовые (93%). Комплекс доминирующих видов по численности формировали *Aphanocapsa holsatica*, *Anathece clathrata*, по биомассе — *Asterionella formosa*, *Aulacoseira subarctica*.

Характеристика зоопланктона. В озере обнаружено 15 форм зоопланктонных организмов из трех обычных для пресных вод групп — коловраток, ветвистоусых и веслоногих раков (табл. 2). Большая часть видов относится к широко распространенным в Палеарктике формам. К дальневосточным эндемикам можно отнести только хищных крупных кладоцер *Leptodora richardi*.

Зоопланктон оз. Слонового в июне представлен преимущественно мелкой фракцией. Крупные кладоцеры в пробах присутствовали единично, что дает основание предполагать, что рыбы-планктофаги, обитающие в озере, по мере роста переключаются на питание прибрежными нектобентическими организмами, в первую очередь бокоплавами *Eogammarus kygi*. В целом июньский зоопланктон озера можно отнести к коловраточному типу. Рачковый планктон массово был представлен только науплиями и младшими копеподитами циклопов, ветвистоусые раки встречались единично. Доминировала в рассматриваемый сезон крупная хищная коловратка *Asplanchna priodonta*, образуя 88,6% биомассы зоопланктона озера. К характерным видам относились холодноводные коловратки рода *Conochiloides* (7,4% общей средней биомассы), *Keratella irregularis irregularis* (2,1%), младшие копеподиты и науплии циклопоидов (1,7%) (табл. 3).

Следует особо отметить наличие в планктоне свободноплавающих стадий рачков эргазилид — эктопаразитов рыб, способных при определенных условиях вызывать массовую гибель последних. Численность и биомасса зоопланктона варьировала без четкой привязки к орографии озера в пределах от 156 898 до 426 434 экз./м^3 и от 470 до 1432 мг/м^3, в среднем составляя 282 066 экз./м^3 и 973,89 мг/м^3 соответственно.

Характеристика ихтиопланктона. По данным съемки 2020 г., в ихтиопланктоне отмечены оболочки от икринок корюшек р. *Hypomesus* диаметром от 0,82–0,84 до 0,92 мм. На станции № 6 уловы были представлены мертвой икрой корюшки диаметром 0,82–0,85 мм. В точке обнаружения плотность икры составляла 2,5 экз./м^3, средняя в озере — 0,417 экз./м^3. Собственно ихтиопланктон был представлен единственной личинкой малоротой корюшки длиной 4,7 мм. Плотность личинок корюшки в точке обнаружения (ст. 5) составила 1,429 экз./м^3, в среднем по озеру — 0,238 экз./м^3.

Характеристика макробентоса. По данным сборов в июне 2020 г., макрозообентос оз. Слонового в пределах обследованных изобат от уреза воды до глубины 12,5 м объединял 23 вида донных гидробионтов. Наибольшим количеством видов были представлены двукрылые, преимущественно хирономиды (табл. 4).

Таблица 2. Список видов и форм зоопланктона озера
Table 2. List of species and morphs of zooplankton of the lake

№	Группа	Вид, форма
1	Rotifera (коловратки)	*Ploesoma truncatun* (Levander, 1894)
2		*Ploesoma hudsoni* (Imhof, 1891)
3		*Filinia terminallis* (Plate, 1886)
4		*Polyarthra* sp.
5		*Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) var. hispida
6		*Keratella irregularis irregularis* (Lauterborn, 1898)
7		*Conochiloides* sp.
8		*Asplanchna priodonta* Gosse, 1850
9		*Trichocerca cylindrica* (Imhof, 1891)
10	Cladocera (ветвистоусые раки)	*Chydorus sphaericus* s. lato (O.F. Müller, 1776)
11		*Biapertura* sp.
12		*Bosmina longirostris* s. lato (O.F. Müller, 1785)
13		*Leptodora richardi* Korovchinsky, 2009
14	Copepoda (веслоногие раки)	*Ergasilus* sp.
15		Cyclopoida indet.

Наибольшую плотность формировали четыре группы: двукрылые Diptera, равноногие раки Isopoda, брюхоногие моллюски Gastropoda и малощетинковые черви Oligochaeta, которые совокупно создавали 94,6% от общей плотности макрозообентоса. По биомассе наиболее значимы были пиявки Hirudinea, брюхоногие моллюски и равноногие раки, которые совместно формировали 86,3% общей биомассы.

В структуре макрозообентоса доминировали пиявки *Erpobdella octoculata* (Linnaeus, 1758) (39,0% от общей биомассы). Группа субдоминант включала 5 видов: изопод *Asellus* (*Asellus*) *levanidovorum* Henry&Magniez 1995, гастропод *Anisus borealis* (Lovén, 1875) и *Anisus centrifugops* L.A. Prozorova & Y.I. Starobogatov, 1997, хирономид *Chironomus salinarius* (Kieffer, 1915), олигохет *Lumbriculus variegatus* (Müller, 1774), которые совместно формировали 46,8% общей биомассы. Интегральные показатели обилия макрозообентоса: 23 вида, 913 ± 103 экз./м^2, 5,625 ± 0,831 г/м^2.

В распределении удельной плотности с глубиной отмечается три пика: у берега в скоплениях макрофитов (1180 экз./м^2), на глубине 4 м (1640 экз./м^2) и на изобате 10 м (1160 экз./м^2). У берега основу численности формировали брюхоногие моллюски, на глубине 4 м — хирономиды и изоподы, на глубине 10 м — хирономиды. Отмечался постепенный рост биомассы к глубине 4 м, затем наблюдалось постепенное снижение показателя. Основу биомассы на глубине 4 м формировали пиявки и изоподы при значимом вкладе хирономид и олигохет.

Характеристика ихтиофауны. Наши исследования в июне 2020 г. показали, что ихтиофауна оз. Слонового характеризуется обедненным видовым составом. В уловах встречалось всего три вида рыб: обыкновенная малоротая корюшка *Hypomesus olidus* (Pallas, 1814), кунджа *Salvelinus leucomaenis* (Pallas, 1814) и амурская колюшка *Pungitius sinensis* Guichenot, 1869. По опросным сведениям, в озере обитает серебряный карась, однако нами он обнаружен не был.

Таблица 3. Структурная характеристика зоопланктона озера
Table 3. Structural characteristics of zooplankton in the lake

Структурная характеристика	Форма	Группа	N, экз./м^3	N, %	B, мг/м^3	B, %	ЧВ, %	КО
Доминирующие	*Asplanchna priodonta*	Rotifera	43 167,7 ± 6461,5	15,3	863,355 ± 129,231	88,6	100,0	8865
	1	1	43 167,7 ± 4120,9	15,3	863,355 ± 82,417	88,6	–	8865
Характерные I порядка	*Conochiloides* sp.	Rotifera	126 502,6 ± 22 745,2	44,8	72,287 ± 12,997	7,4	100,0	742
	Keratella irregularis irregularis	Rotifera	101 523 ± 22 224,4	36,0	20,305 ± 4,445	2,1	100,0	208
	Cyclopoida indet., cop.	Copepoda	2847,8 ± 421,5	1,0	12,815 ± 1,897	1,3	100,0	132
	3	2	230 873,4 ± 22 071,3	81,9	105,407 ± 10,026	10,8	–	1082
Характерные II порядка	Cyclopoida indet., naupl.	Copepoda	4518,4 ± 955,4	1,6	3,615 ± 0,764	0,4	100,0	37
	1	1	4518,4 ± 457,2	1,6	3,615 ± 0,366	0,4	–	37
Второстепенные I порядка	*Filinia terminallis*	Rotifera	2791 ± 2087,6	1,0	0,837 ± 0,626	0,1	83,3	7
	1	1	2791 ± 531	1,0	0,837 ± 0,159	0,1	–	7
Второстепенные II порядка	*Leptodora richardi*	Cladocera	0,5 ± 0,5	0,0002	0,322 ± 0,294	0,03	16,7	1
	Ploesoma truncatun	Rotifera	152,8 ± 89,6	0,1	0,122 ± 0,072	0,01	33,3	0,4
	Polyarthra sp.	Rotifera	273,9 ± 250	0,1	0,068 ± 0,063	0,01	16,7	0,1
	Trichocerca cylindrica	Rotifera	67,2 ± 39,2	0,02	0,034 ± 0,02	0,003	33,3	0,1
	Alona affinis	Cladocera	1,1 ± 1	0,0004	0,055 ± 0,05	0,01	16,7	0,1
	Keratella cochlearis var. *hispida*	Rotifera	208,4 ± 190,2	0,1	0,052 ± 0,048	0,01	16,7	0,1
	Chydorus sphaericus s. lato	Cladocera	1,1 ± 1	0,0004	0,014 ± 0,012	0,001	16,7	0,02
	Ploesoma hudsoni	Rotifera	2,9 ± 1,7	0,001	0,005 ± 0,003	0,001	33,3	0,02
	Ergasilus sp.	Copepoda	7,4 ± 6,8	0,003	0,005 ± 0,005	0,001	16,7	0,01
	Bosmina longirostris s. lato	Cladocera	0,5 ± 0,5	0,0002	0,004 ± 0,004	0,0004	16,7	0,01
	10	3	715,9 ± 118,7	0,3	0,681 ± 0,106	0,1	–	1
Всего	16	3	282 066,4 ± 28 350,4	100,0	973,895 ± 98,127	100,0	–	9993

Таблица 4. Количественные характеристики макрозообентоса оз. Слонового по данным исследований в июне 2020 г.
Table 4. Quantitative characteristics of macrozoobenthos of the Lake Slonovoe on the survey data in June 2020

Группа	Количество видов	N, экз./м^2	N, %	B, г/м^2	B, %
Hirudinea	2	31	3,4	2,201	39,1
Gastropoda	4	122	13,4	1,484	26,4
Isopoda	1	127	13,9	1,170	20,8
Diptera	9	511	55,9	0,439	7,8
Oligochaeta	2	104	11,3	0,200	3,6
Turbellaria	1	9	1,0	0,046	0,8
Bivalvia	1	2	0,3	0,036	0,6
Amphipoda	1	2	0,3	0,035	0,6
Trichoptera	1	2	0,3	0,013	0,2
Nematoda	1	2	0,3	0,000	0,01
Всего	23	913	100,0	5,625	100,0

По частоте встречаемости и численности на обследованных участках водоема преобладали амурская колюшка и обыкновенная малоротая корюшка, по биомассе — кунджа. Несмотря на то, что были обловлены разные биотопы (пологий песчаный берег, обрывистый берег с зарослями растительности, каменистое прибрежье), видовой состав рыб и количественные показатели в уловах активных орудий лова были относительно близкими. В пересчете на единицу площади средние показатели ихтиомассы составили 5,505 г/м^2. Обыкновенная малоротая корюшка была представлена особями длиной по Смитту (AC) от 5,5 до 12,9 см (в среднем 7,9 см), массой тела от 1 до 20,6 г (в среднем 4,3 г). Размерные группы соответствовали четырем возрастным классам: от 1 до 4 полных лет.

Кунджа на Сахалине встречается практически во всех реках, лагунах, озерах, имеющих соединение с морем (Гриценко, 2002; Сафронов, Никифоров, 2003; Гудков, 2004). В оз. Слоновом длина рыб по Смитту (AC) варьировалась от 21,7 до 51 см (в среднем 40,5 см), масса — от 105 до 1370 г (в среднем 777 г), возраст — от 2+ до 5+. В уловах доминировали старшевозрастные особи длиной более 44 см, массой свыше 730 г, в возрасте 5+ лет. Соотношение полов составило 1,8:1 с преобладанием самок. Питалась исследованная кунджа почти исключительно рыбной пищей: у 30,8% в желудках отмечена амурская колюшка, у 11,5% — малоротая корюшка, в 15,4% случаев — переваренные остатки рыб. У одной особи в желудке наряду с рыбой были встречены пиявки. Эффективность воспроизводства кунджи в бассейне водоема находится под вопросом. Впадающие в озеро ручьи короткие, мелкие, для нереста кунджи и обитания молоди малопригодны, в акватории озера молодь младше 3 лет не обнаружена. В полости тела самок отмечена резорбированная икра, что говорит о пропуске нереста и неблагоприятных для него условиях. Возможно, что оз. Слоновое время от времени, в периоды максимального паводка, соединяется с р. Ольдон и опосредованно через нее — с морем, и в эти периоды могут происходить миграции кунджи в озеро и из озера.

Обыкновенная малоротая корюшка на Сахалине нерестится в мае–июне в озерах, старицах, медленнотекущих ручьях. В наших уловах в конце июня рыбы были неполовозрелыми либо посленерестовыми, т. е. нерест у этого вида в оз. Слоновом, предположительно, происходит в первой половине июня. Питалась исследованная малоротая корюшка преимущественно бентическими ракообразными и водными личинками насекомых. Средний балл наполнения желудков составил 1,6. Биологический анализ обыкновенной малоротой корюшки и кунджи показал их обильное заражение паразитическими нематодами — гельминтами из типа круглых червей.

Амурская колюшка — широко распространенный на Сахалине вид, массово населяющий лагунные водоемы, реки и пресноводные озера (Сафронов, Никифоров, 2003). В оз. Слоновом была представлена мелкими особями длиной AD от 2,4 до 6,3 см (в среднем 4,9 см), массой тела от 0,16 до 2,5 г (в среднем 1,3 г). В уловах доминировали рыбы средних размеров. Питалась амурская колюшка довольно активно (средний балл наполнения желудков — 2,3), преимущественно бентическими ракообразными, водными личинками двукрылых насекомых. Период исследований пришелся на ее массовый нерест в озере: около 50% проанализированных взрослых особей имели созревшие половые продукты, другая половина была представлена уже отнерестившимися рыбами. Самки в уловах по численности более чем втрое преобладали над самцами, что связано с особенностями размножения амурской колюшки: самец этого вида строит гнездо на водных растениях и охраняет икру и личинок (Зюганов, 1991). Обилие зарослей водных растений на мелководьях в оз. Слоновом делает данный водоем благоприятным для размножения колюшек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вода оз. Слонового по степени минерализации — пресная, слабоминерализованная; по ионному составу — гидрокарбонатная, относящаяся к группе кальция; по эколого-санитарным показателям находится в диапазоне от предельно чистой до достаточно чистой (Оксиюк и др., 1993). Согласно показателям индексов сапробности, по ионно-солевому составу озеро характеризуются как ксено- и олигосапробное, по содержанию органических веществ — как мезо- и полисапробное (ГОСТ 17.1.2.04–77).

Видовой состав фитопланктона оз. Слонового разнообразен. Основными структурообразующими компонентами являются колониальные диатомовые водоросли и цианобактерии. На основании состава и соотношения сапробионтных видов микроводорослей качество воды оценивается как «достаточно чистая» и «вполне чистая». Средняя численность микроводорослей составляет 15,568 млн кл./л, биомасса — 2,95 г/м^3. Согласно классификации озер по степени трофности (Китаев, 1984), а также учитывая особенности структуры фитопланктонного комплекса, оз. Слоновое в весенний период можно отнести к мезотрофным водоемам.

Описанное состояние зоопланктона оз. Слонового соответствует весенней коловраточной стадии развития сообществ, характерной для пресноводных постлагунных озер морских кос юга Сахалина (Лабай и др., 2010), которая летом обычно сменяется массовым развитием более крупных организмов — ветвистоусых и веслоногих раков. Из изученных водоемов острова видовой состав зоопланктона наиболее близок к таковому для пресноводных озер Вавайской и Охотской групп (Боруцкий, Богословский, 1964; Лабай и др., 2010). Столь поздние сроки протекания биологической весны в пресноводных водоемах являются характерной чертой о. Сахалин, обусловленные его климатическими и метеорологическими особенностями.

Состояние макробентоса можно охарактеризовать как типичное для пресноводных лагунных водоемов о. Сахалин после потери связи с морским прибрежьем (Лабай и др., 2014).

Ихтиопланктон оз. Слонового был представлен икрой и личинками малоротой корюшки, ихтиофауна — кунджей, обыкновенной малоротой корюшкой и амурской колюшкой. В то время как обыкновенная малоротая корюшка и амурская колюшка образуют в озере самовоспроизводящиеся популяции, размножение кунджи в бассейне данного водоема находится под вопросом. Основу питания малоротой корюшки и амурской колюшки составляет рачковый бентос. Зоопланктон в связи с отсутствием крупных форм играет роль как объект питания только для молоди этих видов. Кунджа питается почти исключительно рыбой: как амурской колюшкой, так и малоротой корюшкой. В целом состав ихтиофауны озера можно охарактеризовать как типичный для малых озер северо-восточной части о. Сахалин.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Боруцкий Е.В., Богословский А.С. 1964. Зоопланктон озер Южного Сахалина / Озера Южного Сахалина и их ихтиофауна. М.: МГУ. С. 97–140.

Вода для рыбоводных хозяйств, общие требования и нормы. ОСТ 15-372-87. Утв. приказом Минрыбхоза СССР от 10.12.1987 (дата актуализации 01.01.2021). 17 с.

Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. 2006. (Под ред. К.Л. Виноградовой). М.: Тов-во науч. изд. КМК. 367 с.

Воскобойникова О.С., Назаркин М.В., Голубова Е.Ю. 2012. Ранние стадии развития рыб северной части Охотского моря // Исследование фауны морей. Т. 68 (76). 106 с.

ГОСТ 17.1.2.04-77. Правила состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. Охрана природы. Гидросфера: Сб. ГОСТов. 2000. М.: ИПК Издательство стандартов. С. 51–62.

Григорьев С.С. 2007. Ранние стадии рыб Северо-Востока России (прибрежные морские воды и внутренние водоемы): Атлас-определитель. Владивосток: Дальнаука. 331 с.

Грищенко О.Ф. 2002. Проходные рыбы острова Сахалин (систематика, экология, промысел). М.: ВНИРО. 248 с.

Гудков П.К. 2004. Некоторые биологические особенности кунджи *Salvelinus leucomaenis* (Pallas) из оз. Тунайча // Тр. СахНИРО. Т. 6. С. 129–137.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). 1974. Т. 1. Л.: Наука, Ленингр. отд-е. 403 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). 1988. Т. 2. Вып. 1. Л.: Наука. 116 с.

Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши 1985 г. // Госуд. водн. кадастр. Вып. 22: Бассейны рек на территории Сахалинской области. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1 (27). 1986. Южно-Сахалинск: Сах. территор. управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. 183 с.

Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши 1987 г. // Госуд. водн. кадастр. Вып. 22: Бассейны рек на территории Сахалинской области. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1 (27). 1988. Южно-Сахалинск: Сах. территор. управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. 220 с.

Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши 1988 г. // Госуд. водн. кадастр. Вып. 22: Бассейны рек на территории Сахалинской области. Ч. 1: Реки и каналы. Т. 1 (27). 1989. Южно-Сахалинск: Сах. территор. управление по гидрометеорологии и контролю природной среды. 220 с.

Зюганов В.В. 1991. Фауна СССР. Рыбы. Семейство колюшковых (Gasterosteidae) мировой фауны. Т. 5. Вып. 1. Л.: Наука. 261 с.

Китаев С.П. 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука. 207 с.

Лабай В.С., Атаманова И.А., Заварзин Д.С., Мотылькова И.В., Мухаметова О.Н., Никитин В.Д. 2014. Водоемы острова Сахалин: от лагун к озерам: Моногр. Южно-Сахалинск: Сах. обл. краеведч. музей. 208 с.

Лабай В.С., Заварзин Д.С., Мухаметова О.Н., Коновалова Н.В., Мотылькова И.В., Полупанов П.В. 2010. Планктон и бентос озер Вавайской системы (Южный Сахалин) и условия их обитания. Южно-Сахалинск: СахНИРО. 216 с.

Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В., Мартынова Н.Н., Белкина Н.А., Калмыков М.В., Платонов А.В., Кравченко И.Ю., Зобков М.Б. 2006. Исследования процессов формирования химического состава поверхностных вод Карелии // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Матер. конф., посвящ. 15-летию ИВПС. Карельский науч. центр РАН, Ин-т водных проблем Севера, Карельское отд. Русского географ. общества. С. 249–272.

Макарова И.В., Пичкилы Л.О. 1970. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботанич. журнал. Т. 55, № 10. С. 1488–1494.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов раннего онтогенеза рыб и инструкции к работе с базой данных «Ихтиопланктон». 2016. Сост.: Н.В. Мухина, Н.А. Ярагина, Н.А. Лепесевич, В.И. Разина. Мурманск: ПИНРО. 96 с.

Нормы технологического проектирования лососевых рыбоводных заводов и форелевых рыбоводных хозяйств. 1986. ВНТП 34-86. Утв. Приказом Минрыбхоза СССР от 17.02.1986 г. 91 с.

Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник П.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г. 1993. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журнал. Т. 29. Вып. 4. С. 62–76.

Палий В.Ф. 1961. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоологич. журнал. Т. 40. Вып. 1. С. 3–6.

Перцева-Остроумова Т.А. 1961. Размножение и развитие дальневосточных камбал. М.: АН СССР. 484 с.

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть. 376 с.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03 (с изменениями на 13 июля 2017 г.). [Электронный ресурс] / Доступ из ИИС «Техэксперт». Дата обращения 20.09.2021.

Приказ Минсельхоза № 552 от 13 декабря 2016 года «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Радченко И.Г., Капков В.И., Федоров В.Д. 2010. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: Учебно-метод. пособие для студентов биол. спец. М.: Мордвинцев. 60 с.

Расс Т.С. 1965. Инструкция по поиску рыбы по плавающей икре (на рус. языке). Пекин, 31 с.

Расс Т.С., Казанова И.И. 1966. Методическое руководство по сбору икринок, личинок и мальков рыб. М.: Пищ. пром-сть. 43 с.

Рекомендации по сбору и обработке ихтиопланктона зоны течения Куросио. 1987. Владивосток: ТИНРО. 70 с.

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

Сафронов С.Н., Никифоров С.Н. 2003. Список рыбообразных и рыб пресных и солоноватых вод Сахалина // Вопр. ихтиологии. Т. 43, № 1. С. 42–53.

Свирская Н.Л. 1987. Методические указания по исследованию зоопланктона для определения состояния фоновых пресноводных экосистем. М.: Гидрометеоиздат. 25 с.

Семенова А.С. 2011. Количественные показатели зоопланктона Куршского залива при разных способах отбора проб // Гидробиол. журнал. Т. 47, № 1. С. 112–120.

Соколовский А.С., Соколовская Т.Г. 2008. Атлас икры, личинок и мальков рыб российских вод Японского моря. Владивосток: Дальнаука. 223 с.

Федоров В.Д. 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: МГУ. 166 с.

Шаров А.Н. 2020. Фитопланктон холодноводных озерных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов: Автореф. дис. … док. биол. наук. СПб. 42 с.

Эллиотт Дж.М., Дрейк С.М., Тулетт П.А. 1981. Выбор пробоотборника для бентосных макробеспозвоночных в глубоких реках // Науч. основы контроля качества поверхностных вод по гидробиол. показателям: Тр. II сов.-англ. семинара. Л.: Гидрометиздат. С. 230–245.

An Atlas of the Early Stage Fishes in Japan. 1988. Tokai University Press. 1160 c.

Identification of eggs and earvae of marine fishes (Edited by A. Kendall). 2011. Tokai University Press. 379 p.

Lange-Bertalot H. 2001. Navicula sensu stricto 10 Genera from Navicula sensu lato Frustulia. Vol. 2. 525 p.

Matarese A.C., Kendall A.W., Blood D.M., Vinter B.M. 1989. Laboratory guide to early life history stages of Northeast Pacific Fishes. US Department of Commerce. NOAATechnicalReportNMFS 80. 654 p.

УДК 551.46.07:629.783(265.54)

ФОРМИРОВАНИЕ БЛАГОПРИЯТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР В ПЕРИОД НАГУЛЬНЫХ МИГРАЦИЙ ТИХООКЕАНСКОГО КАЛЬМАРА В ЮЖНО-КУРИЛЬСКИЙ РАЙОН ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2019–2020 ГГ.

Александр Афанасьевич Никитин, Ирина Леонидовна Цыпышева, Николай Михайлович Мокрин, Евгений Всеволодович Слободской

Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), Владивосток, Россия, aleksandr.nikitin@tinro-center.ru, irina.tsypysheva@tinro-center.ru, nmokrin@mail.ru, evgeniy.slobodskoy@tinro-center.ru

Аннотация. Проведено сопоставление районов специализированного промысла тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*) донными и пелагическими тралами в Южно-Курильском районе (по судовым суточным данным системы ЦСМС Росрыболовства) и элементов гидрологической обстановки, выделенной по инфракрасным спутниковым изображениям за путину 2019–2020 гг. Использовались данные со спутников AQUA, TERRA (спектрорадиометр MODIS), полученные и обработанные в Центре коллективного пользования Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН. Установлено, что скопления тихоокеанского кальмара в большинстве случаев приурочены к районам вихревого апвеллинга. Максимальные уловы тихоокеанского кальмара отмечались на периферии теплых мезомасштабных антициклонических вихрей, граничащих с субарктическими водами. Скопления кальмара были сосредоточены в центре вихря, если вихрь имел спиралевидную структуру. Если заток субтропических вод принимал форму грибовидного течения, наибольшие уловы тихоокеанского кальмара отмечались в струе течения и в зоне антициклонического и циклонического завихрения диполя. Во фронтальной зоне между субтропическими и субарктическими водами районы промысла кальмара находились с теплой стороны фронта. Температура поверхности моря в районах лова была в диапазоне от 12 °С до 17 °С.

Ключевые слова: тихоокеанский кальмар, Южно-Курильский район, Ойясио, Соя, спутниковые изображения, температура, термическая структура вод, субтропические воды, субарктические воды, вихри, струйные течения, грибовидные течения, фронт, динамика вод

FORMATION OF FAVORABLE HYDROLOGICAL STRUCTURES DURING FEEDING MIGRATIONS OF JAPANESE FLYING SQUID INTO THE SOUTH KURIL REGION BASED ON SATELLITE OBSERVATIONS IN 2019–2020

Aleksander A. Nikitin, Irina L. Tsypysheva, Nikolay M. Mokrin, Evgeniy V. Slobodskoy

Pacific Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok, Russia, aleksandr.nikitin@tinro-center.ru, irina.tsypysheva@tinro-center.ru, nmokrin@mail.ru, evgeniy.slobodskoy@tinro-center.ru

Abstract. A comparison of the areas of target fishing for Japanese Flying squid (*Todarodes pacificus*) by bottom and pelagic trawls in the South Kuril region (based on the ship's daily data from the CFMC of Rosrybolovstvo) and elements of the hydrological situation isolated from infrared satellite images for the period 2019–2020 was made. We used data from the AQUA, and TERRA satellites (MODIS spectroradiometer), obtained and processed at the Center for Collective Use of the Regional Satellite Environmental Monitoring of the FEB RAS (CCP). It has been established that Japanese Flying squid aggregations in most cases are confined to the areas of vortex upwelling. The maximum catches of Japanese Flying squid were observed on the periphery of warm mesoscale anticyclonic eddeis bordering subarctic waters. Squid aggregations were concentrated in the center of the vortex if the vortex had a spiral structure. In case if the inflow of subtropical waters was mushroom-shaped, the highest catches of Japanese Flying squid were observed in the current stream and in the zone of anticyclonic and cyclonic turbulence of the dipole. Squid fishing areas in the frontal zone between subtropical and subarctic waters were located from the warm side of the front. The sea surface temperature in the fishing areas ranged from 12 °C to 17 °C.

Keywords: Japanese Flying squid, South Kuril region, Oyasio, Soy, satellite images, temperature, thermal structure of waters, subtropical waters, subarctic waters, vortices, jet currents, mushroom currents, front, water dynamics

Тихоокеанский кальмар (*Todarodes pacificus*) — один из массовых видов эпипелагиали северо-западной части Тихого океана, имеющий важное промысловое значение в странах АТР (Sakurai et al., 2013). Ареал вида охватывает Восточно-Китайское, Японское, Охотское моря и тихоокеанские воды Японии и Курильских о-вов (рис. 1). Тихоокеанский кальмар характеризуется наличием протяженных миграций, коротким жизненным циклом (около 1 года) и значительными колебаниями численности (Шевцов, 1978; Kidokoro et al., 2010; Sakurai et al., 2013).

В Южно-Курильском районе тихоокеанский кальмар в годы высокой численности образует промысловые концентрации с июля по октябрь (Зуев, Несис, 1971; Шевцов, 1978; Murata, 1990).

В последние годы наблюдается выраженная тенденция к сокращению запасов тихоокеанского кальмара в СЗТО как результат изменения климатического и гидрологического режимов, которые значительно влияют и на географию промысла кальмара.

Из литературных источников известно, что от океанологических условий и их динамики зависят миграционные пути, формирование и распределение участков с благоприятными условиями для образования скоплений кальмаров, что, в свою очередь, определяет промысловую обстановку (Павлычев, Шевцов, 1977; Мокрин, Никитин, 1989; Дьяков, 2003; Новиков и др., 2007). Карты температуры поверхности океана (ТПО) акватории СЗТО, построенные на основе данных дистанционного зондирования, позволяют оценить состояние и динамику температурных условий промыслового района. Дистанционные методы изучения океана предусматривают, прежде всего, оценку пространственно-временной изменчивости проявлений океанической циркуляции: течений, фронтальных зон, меандров и вихрей различных масштабов. Теплые вихри формируют пути миграции не только пелагических видов рыб, но и влияют на распределение тихоокеанского кальмара.

С появлением новых алгоритмов обработки спутниковых сигналов возникла возможность давать не только качественную, но и количественную оценку температуры воды в морях на основе спутниковых измерений. Спутниковые изображения морской поверхности и результаты их обработки используются в качестве информационных источников, характеризующих гидрологические особенности среды обитания гидробионтов, прежде всего температура воды. Важное экологическое значение температуры воды объясняется ее существенным влиянием на все без исключения биологические процессы в море, начиная с продуцирования первичного органического вещества и кончая поведением промысловых скоплений гидробионтов (Алексанин, Алексанина, 2006; Булатов и др., 2008; Самко, Булатов, 2014; Самко и др., 2020).

Южно-Курильский район (ЮКР) является периферийной зоной ареала тихоокеанского кальмара, поэтому промобстановка здесь зависит как от состояния запаса вида, так и от океанологической обстановки. В 2019–2020 гг. здесь был отмечен максимальный вылов тихоокеанского кальмара: 17,2 и 14,2 тыс. т соответственно. Как показано на рис. 2, промысел тихоокеанского кальмара велся практически в одних и тех же местах (район малой Курильской гряды). При этом гидрологическая обстановка в ЮКР в эти годы различалась, что и побудило авторов провести анализ термических условий поверхностных вод в ЮКР.

Цель работы: провести анализ термической структуры поверхностных вод с учетом динамики водных масс в ЮКР и выделить гидрологические элементы структуры вод с максимальными уловами кальмара в путину 2019–2020 гг.

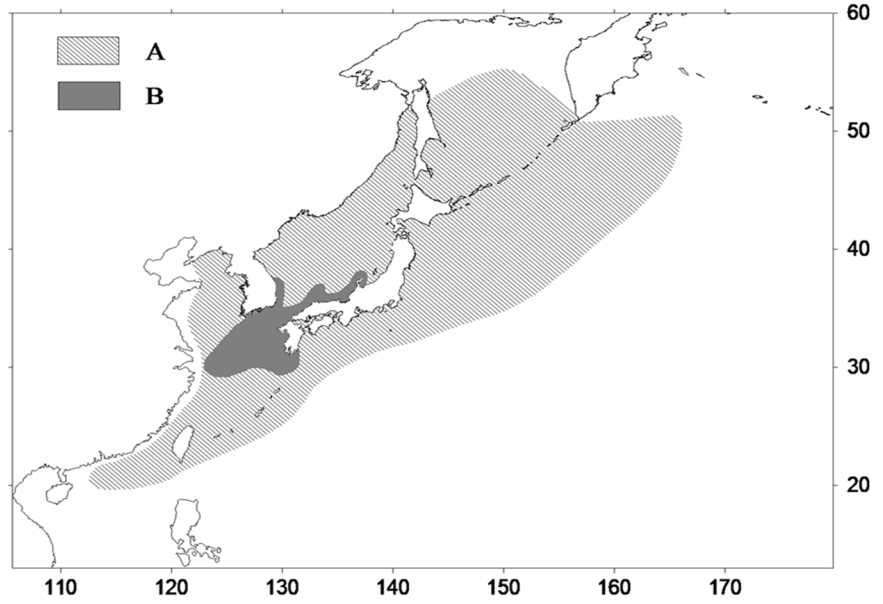

Рис. 1. Ареал обитания тихоокеанского кальмара в северо-западной части Тихого океана (Несис, 1982; Okutani, 1983; Dunning, 1988): A — область распространения, B — область размножения
Fig. 1. The area of Japanese Flying squid distribution in the northwestern part of the Pacific Ocean (Nesis, 1982; Okutani, 1983; Dunning, 1988): A – area of distribution, B – area of reproduction

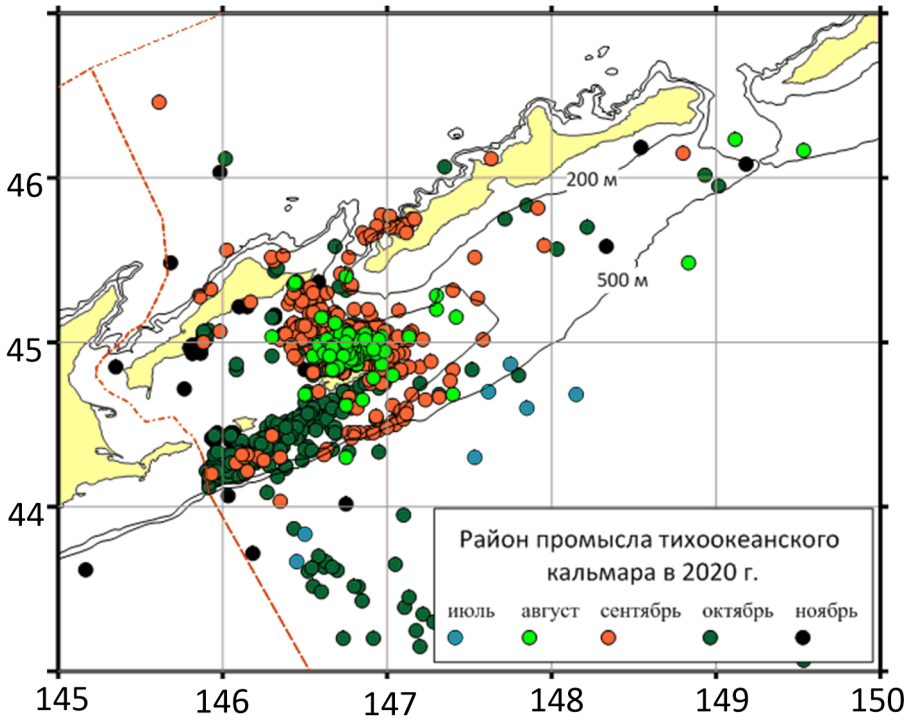

Рис. 2. Районы тралового промысла тихоокеанского кальмара российскими судами в Южно-Курильском районе в июле–ноябре 2020 г.
Fig. 2. The districts of the trawl fishing for Japanese Flying squid by Russian vessels in the South Kuril district in July–November 2020

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В настоящей работе, используя дистанционные методы зондирования океана, были проанализированы термические условия и динамика вод в Южно-Курильском районе, наблюдавшиеся в период подходов тихоокеанского кальмара (*Todarodes Pacificus*) на нагул в течение 2019–2020 гг. Проведено сопоставление районов специализированного промысла донными и пелагическими тралами в Южно-Курильском районе (по судовым суточным данным на промысле тихоокеанского кальмара системы ЦСМС Росрыболовства) и элементов гидрологической обстановки, выделенной по инфракрасным спутниковым изображениям за путину 2019–2020 гг. в ЮКР. В работе использовался архив температуры поверхности океана (ТПО) за 2019–2020 гг., восстановленной по данным сканера AVHRR спутников серии NOAA и спектрорадиометра MODIS (спутники AQUA, TERRA) в инфракрасном диапазоне спектра с пространственным разрешением 1,1 и 1,0 км. Данные получены и обработаны в Центре коллективного пользования Регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН (ЦКП) (Алексанин, Алексанина, 2006). Для визуализации пространственного распределения ТПО использовалась программа Glance1.95. При дешифрировании, проводя коррекцию яркостных порогов снимков по гистограмме, добивались проявления водных масс по цвету. При этом наблюдались аномалии состояния морской поверхности, такие как: меандры, мезомасштабные вихри и струйные грибовидные течения с вихревым диполем на конце, антициклонические вихри. Карты-схемы термической структуры вод и основных потоков водных масс строились по изображениям, максимально освобожденным от облачности. Закрытые облачностью участки просматривались по другим снимкам в течение этих же суток. На картах координаты тралений с максимальным уловом обозначены заштрихованными кружками, овалом — районы, где работало несколько судов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Используя спутниковые изображения, нами были более детально выделены гидрологические элементы структуры вод, в которых отмечались наибольшие уловы тихоокеанского кальмара.

В начале сентября 2019 г. гидрологическая ситуация в Южно-Курильском районе характеризовалась значительным затоком в район субтропических вод, что способствовало увеличению периода нагула кальмара в прикурильских водах. С юга подошли воды первой и второй ветвей Куросио, отдельные струйные течения достигали 45° с. ш. Трансформированные теплые воды течения Сойя проникали в Южно-Курильский пролив около о. Хоккайдо и через прол. Екатерина, образуя на выходе из пролива мезомасштабный антициклонический вихрь (рис. 3а). Граница фронтальной зоны проходила от вихря до о. Шикотан. Основной промысел кальмара велся в затоках относительно теплых вод севернее о. Шикотан. Максимальный улов составлял 33,2 т. С южной стороны о. Шикотан в пролив проникали субарктические воды течения Ойясио, в вершине этого затока также был значительный улов 38,7 т (ТПО 13–14 °С).

Основное отличие гидрологических условий 2020 г. от условий 2019 г. состоит в том, что восточнее о. Хоккайдо не наблюдалось крупного антициклонического вихря, адвекция теплых субтропических вод осуществлялась более мелкими струйными течениями. В начале сентября большая часть Южно-Курильского пролива была занята субарктическими водами течения Ойясио (рис. 3б). Воды течения Сойя проникали в пролив лишь около о. Хоккайдо. Также теплыми водами были окружены острова Малой Курильской гряды. Основной участок промысла кальмара был севернее о. Шикотан на южной периферии антициклонического вихря и в зоне взаимодействия с субарктическими водами. Максимальный вылов — 19 т (ТПО 15–16 °С). Меньшие уловы, от 4 до 12 т (ТПО 13–15 °С), наблюдались в трансформированных водах Ойясио южнее о. Шикотан.

В конце сентября 2019 г. увеличилась адвекция субарктических вод в район, обозначилась первая ветвь Ойясио. К Южно-Курильскому проливу подошли субарктические воды (рис. 3в). Сохранялся поток теплых вод течения Сойя через пр. Екатерины. После взаимодействия вихревых структур в северной части Южно-Курильского пролива установился довольно крупный квазистационарный антициклонический вихрь. По характеру затока в его юго-восточную зону относительно холодных субарктических вод можно было определить, что вихрь имел спиралевидную структуру. Основной район промысла кальмара был в зоне этого затока в южной части вихря.

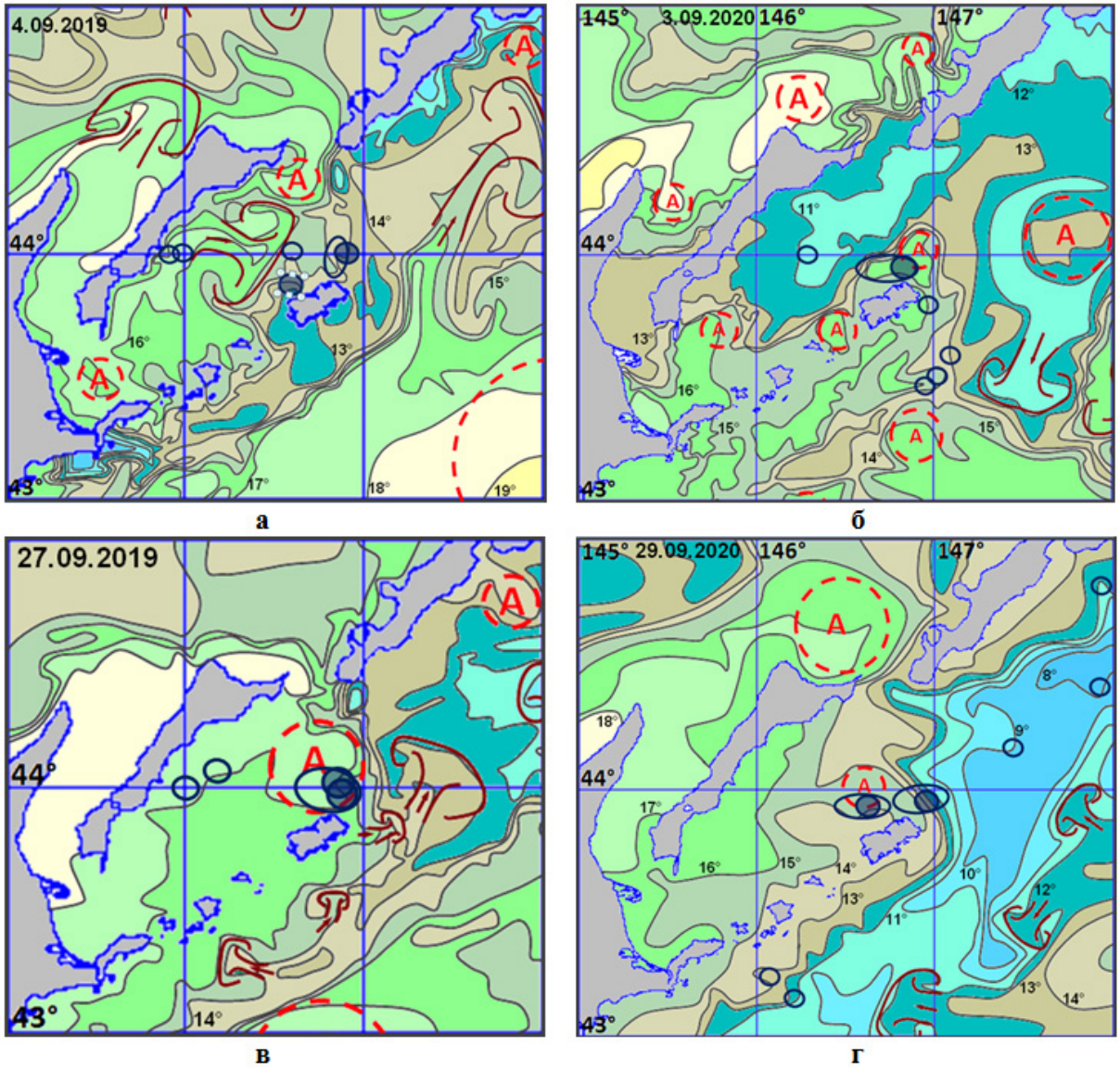

Рис. 3. Карты-схемы термической структуры вод, построенные по спутниковым данным, за 4.09.2019 (а), 3.09.2020 (б), 27.09.2019 (в) и 29.09.2020 (г) с районами промысла кальмара. Условные обозначения: **A** — антициклонический вихрь; ⍑ — грибовидное течение; ● — координаты тралений с максимальными уловами; ○○ — координаты тралений и районы промысла

Fig. 3. The schematic maps of the thermal structure of waters, based on satellite data for September 4, 2019 (a), September 3, 2020 (б), September 27, 2019 (в) and September 29, 2020 (г) with the the areas of squid fisheries. Legend: **A** – anticyclonic vortex; ⍑ – mushroom-shaped current; ● – coordinates of trawlings with the maximum catches; ○○ – coordinates of trawlings and districts of fishing

Максимальные уловы составили 30,8 т, 24,5 т при ТПО 16–17 °С.

В конце сентября 2020 г. течение Ойя было интенсивным, но слабее, чем 2019 г. Его воды практически не проникали через прол. Екатерины в Южно-Курильский пролив. Температура воды в проливе понизилась. Севернее о. Шикотан в струйном относительно теплом течении установился антициклонический вихрь небольшого размера, по сравнению с прошлым годом. Районы промысла кальмара находились на южной периферии вихря (ТПО 14–15 °С) и в окончании затока теплых вод во фронтальной зоне (перепад ТПО 11/15°). Максимальные уловы были 7–8 т. Теплые воды Куросио отступили в южном направлении, акватория вод течения Ойясио значительно увеличилась. Некоторые суда ловили кальмара в водах Ойясио, но уловы были незначительны.

Во второй декаде октября 2019 г. течение Ойя ослабло. Продолжалось усиление течения Ойясио. Его воды проникали в Южно-Курильский пролив, на месте антициклонического вихря образовался вихревой диполь (рис. 4а). Основной район промысла был на восточной стороне антициклонического вихря диполя, на границе с относительно теплыми (11–12 °С) субарктическими водами. Уловы составляли 10–17 т. Однако максимальный улов 98,3 т был на другом участке, южнее о. Шикотан на границе мезомасштабной акватории с относительно теплыми во-

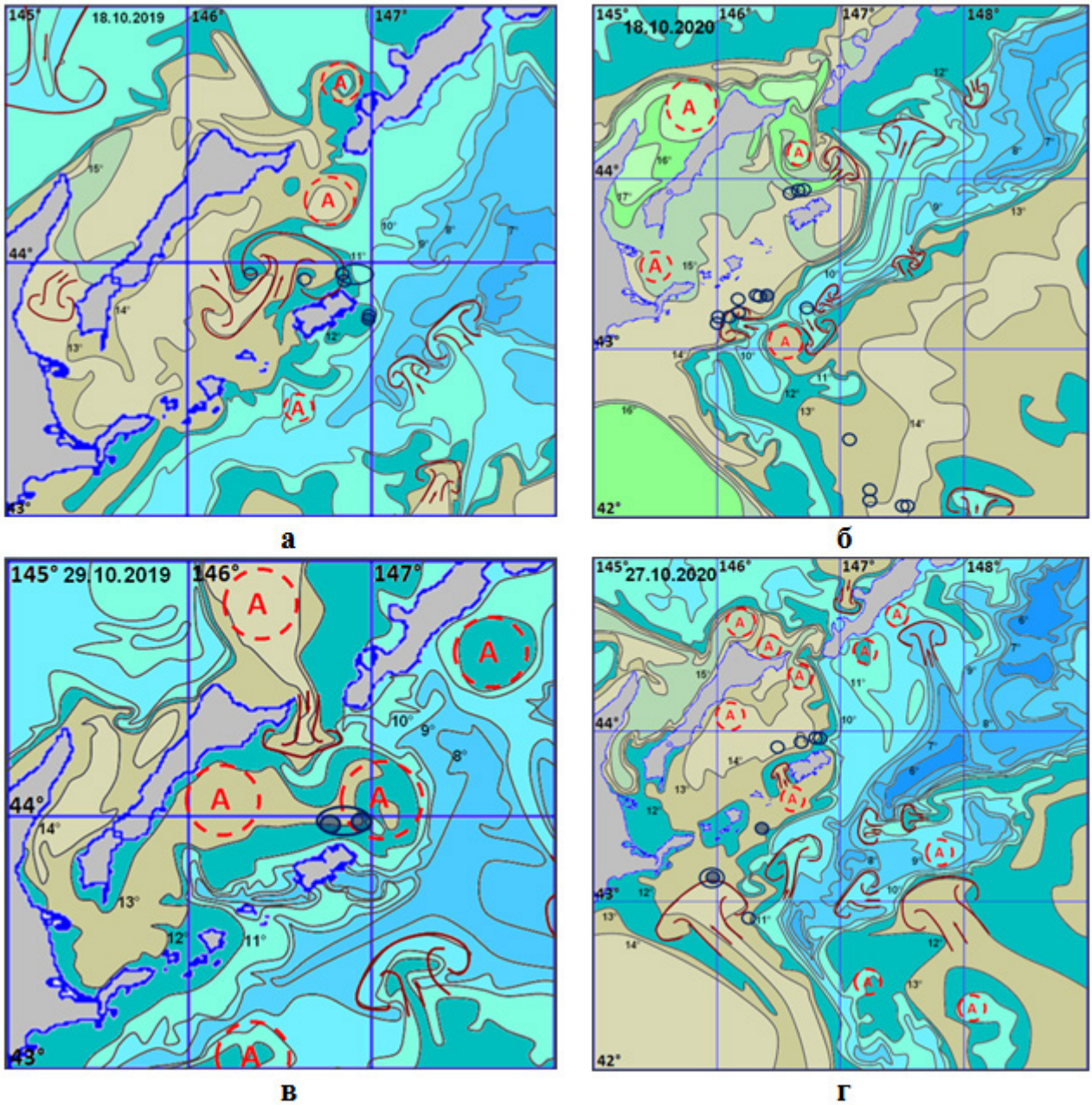

Рис. 4. Карты-схемы термической структуры вод, построенные по спутниковым данным, за 18.10.2019 (а), 18.10.2020 (б), 29.10.2019 (в) и 27.10.2020 (г) с районами промысла кальмара (обозначения как на рис. 3)
Fig. 4. Schematic maps of the thermal structure of waters, based on satellite data for October 18, 2019 (a), October 18, 2020 (b), October 29, 2019 (c) and October 27, 2020 (d) with the areas of squid fisheries (the legend as in Fig. 3)

дами и субарктическими холодными водами стрежня Ойясио (9–10 °С).

В октябре 2020 г. одновременно с ослаблением радиационного прогрева и понижением ТПО отмечалась осенняя активизация теплых течений. Воды течения Сойя продвинулись на север вдоль о. Итуруп и стали проникать в Южно-Курильский пролив (рис. 4б). Однако крупных океанических структур не образовалось. В довольно узком теплом струйном течении (15–16 °С) 18 октября кальмар ловили от 2 до 8 т в сутки. Другой район промысла находился южнее Южно-Курильской гряды в грибовидном затоке субтропических вод в относительно теплую область (14 °С) и в выступе теплых вод к стрежню течения Ойясио. Вершина теплых вод первой ветви Куросио приблизилась к о. Хоккайдо, не давая развиться первой ветви Ойясио. Часть уловов, от 1,5 до 2,5 т, наблюдалась на границе второй ветви со стороны теплых вод второй ветви Куросио.

В конце октября 2019 г. увеличилась адвекция субарктических вод в рассматриваемом районе, обозначились первая и вторая ветви Ойясио. Южно-Курильский пролив частично заполнили субарктические воды (рис. 4в). В вихревом диполе, рассмотренном выше (рис. 4а), циклонический вихрь диссипировал, отчетливо выделялся антициклонический вихрь, центр которого заполнили воды течения Ойясио. Промысловый район кальмара находился в юго-западной части вихря и в струе относительно теплых вод (13 °С), подпитывающих вихрь. Максимальные уловы были 38–39 т.

В третьей декаде октября 2020 г. воды течения Сойя продолжали проникать в Южно-Курильский пролив, где оставалась довольно обширная область относительно теплых вод. Зона вокруг Южно-Курильской гряды в основном была заполнена субарктическими водами. 27 октября группа судов (как и 18 октября) продолжала ловить кальмара на границе теплой области (14 °С) и субарктических вод севернее о. Шикотан (рис. 4г). Уловы были от 4 до 16 т. От вершины первой ветви Куросио при южных ветрах отделилось довольно мощное струйное грибовидное течение в сторону Южно-Курильской гряды. Промысел тихоокеанского кальмара велся на северной периферии антициклонического вихря этой когерентной структуры, где максимальный улов составил 22 т. А северо-восточнее, в затоке холодных вод в теплую область южнее Южно-Курильской гряды, улов составил 24 т.

Таким образом, в сезон 2019 г. основным районом промысла кальмара была акватория Южно-Курильского пролива. Зона от о. Кунашир до Южно-Курильской гряды была заполнена теплыми водами течения Сойя, лишь во второй половине октября в нее стали проникать холодные воды течения Ойясио. В 2020 г. уже в октябре район промысла сместился южнее, в зону взаимодействия теплых вод с водами Ойясио, хотя часть промысла оставалась в Южно-Курильском проливе.

Таким образом, основной район промысла тихоокеанского кальмара в ЮКР в 2019–2020 гг. был связан с вихревыми полями во фронтальной зоне вокруг о. Шикотан, образованной взаимодействием вод течения Соя, вдоль берегового течения Ойясио и мощного течения Куросио.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в работе данных архива температуры поверхности моря за 2019–2020 гг. в инфракрасном диапазоне спектра позволило выявить в поле пространственного распределения температуры поверхности океана гидрологические элементы, в которых успешно велся лов тихоокеанского кальмара.

Основной район промысла тихоокеанского кальмара в ЮКР в 2019–2020 гг. был связан с вихревыми полями во фронтальной зоне вокруг о. Шикотан, образованной взаимодействием вод течения Соя, вдоль берегового течения Ойясио и мощного течения Куросио. Скопления тихоокеанского кальмара в большинстве случаев были приурочены к районам вихревого апвеллинга. Высокие уловы тихоокеанского кальмара отмечались на периферии теплых мезомасштабных антициклонических вихрей, граничащих с субарктическими водами. Если вихрь имел спиралевидную структуру, то скопления кальмара были сосредоточены в центре вихря. Если заток субтропических вод принимал форму грибовидного течения, максимальные уловы тихоокеанского кальмара отмечались в струе течения и в зоне антициклонического и циклонического завихрения диполя. Во фронтальной зоне между субтропическими и субарктическими водами районы промысла кальмара находились с теплой стороны фронта. Температура поверхности моря в районах лова была в диапазоне от 12 °С до 17 °С.

Основное отличие гидрологических условий в ЮКР в 2020 г. от условий 2019 г. состояло в том, что восточнее о. Хоккайдо не наблюдалось крупного антициклонического вихря, адвекция теплых субтропических вод осуществлялась более мелкими струйными течениями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Алексанин А.И., Алексанина М.Г. 2006. Мониторинг термических структур поверхности океана по данным ИК-канала спутников NOAA на примере Прикурильского района Тихого океана // Со-

временные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 3. Т. 2. М.: ООО «Азбука-2000». С. 9–14.
Булатов Н.В., Самко Е.В., Цыпышева И.Л. 2008. Океанологические образования, благоприятные для концентрации пелагических рыб по инфракрасным данным ИСЗ NOAA // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Вып. 5. Т. 2. С. 49–61.
Дьяков Б.С. 2003. Влияние циркуляции вод на пространственное распределение промысловых скоплений тихоокеанского кальмара в Японском море // Изв. ТИНРО. Т. 134. С. 258–265.
Зуев Г.В., Несис К.Н. 1971. Кальмары (Биология и промысел). М.: Пищ. пром-сть. С. 360.
Мокрин Н.М., Никитин А.А. 1989. Использование спутниковой информации для определения сроков и путей миграций тихоокеанского кальмара в Японском море / Тез. докл. 4-й Всесоюз. конф. по географии Мирового океана (Калининград, 18–23 сентября 1989 г.). С. 118.
Несис К.Н. 1982. Краткий определитель головоногих моллюсков Мирового океана. М.: Легкая и пищ. пром-сть. 360 с.
Новиков Ю.В., Слободской Е.В., Шевцов Г.А. 2007. Влияние океанологических условий на распределение и биологические особенности массовых видов кальмаров в Южно-Курильском районе // Океанология. Морская биология. Т. 47. № 2. С. 259–265.
Павлычев В.П., Шевцов Г.А. 1977. Влияние гидрологических условий на промысел кальмара *Todarodes pacificus* Steenstrup в северо-западной части Тихого океана // Изв. ТИНРО. Т. 101. С. 13–17.
Самко Е.В., Булатов Н.В. 2014. Исследование связи положения рингов Куросио с теплым ядром и распределения промысла сайры по спутниковым данным // Исследования Земли из космоса. № 2. С. 18–26.
Самко Е.В., Новиков Ю.В., Никитин А.А., Муктепавел Л.С., Цыпышева И.Л., Капшитер А.В., Гостренко Л.М. 2020. Использование материалов дистанционного зондирования в рыбохозяйственных целях на Дальневосточном бассейне / Сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ», посвящ. 90-летию Российского гос. гидрометеорол. ун-та (22–24 октября 2020 г.). С. 419–420.
Шевцов Г.А. 1978. Тихоокеанский кальмар *Todarodes pacificus* Steenstrup, 1880 (Cephalopoda, Ommastrephidae) северо-западной части Тихого океана (биология, распределение, состояние запасов): Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток. С. 24.
Dunning M.C. 1988. *Todarodes pacificus* pusillus, new subspecies (Cephalopoda: Ommastrephidae) from Nothen Australia // Memories of the Museum of Victoria. Vol. 49. № L. P. 149–157.
Kidokoro H., Goto T., Nagasawa T., Nishida H., Akamine T., Sakurai Y. 2010. Impact of climate regime shift on the migration of Japanese common squid (*Todarodes pacificus*) in the Sea of Japan / Int. Coun. For the Exp. of the Sea. Oxord Jornals. P. 1314–1332.
Murata M. 1990. Oceanic resources of squids // Mar. Behav. Physiol. Vol. 18. P. 19–71.
Okutani T. 1983. *Todarodes pacificus* // Cephalopod life cycles. Vol. 1. Species accounts /ed. Boyle P.R. London: Academic Press. P. 201–214.
Sakurai Y., Kidokoro H., Yamashita N., Yamamoto J., Uchikawa K., Takahara H. 2013. *Todarodes pacificus*, Japanese common squid / In: Advances in Squid Biology, Ecology and Fisheries. Part 2. Nova Science Publishers. Inc. P. 250–270.

УДК 597.5-1.05:549.24(268.45)

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИИ МЫШЬЯКА В ДОННЫХ РЫБАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Михаил Аркадьевич Новиков, Елена Анатольевна Горбачева

Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), Мурманск, Россия, mnovik@pinro.ru, gorbach@pinro.ru

Аннотация. На основе данных за 2011–2021 гг. изучено содержание общего мышьяка в мышцах и печени ряда донных рыб Баренцева моря: трески *Gadus morhua*, пикши *Melanogrammus aeglefinus*, камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides*, черного палтуса *Reinhardtius hippoglossoides*, морской камбалы *Pleuronectes platessa*, пятнистой *Anarhichas minor* и полосатой *A. lupus* зубаток. Показано, что среднее содержание общего мышьяка в мышцах пикши, камбалы-ерша и пятнистой зубатки высокое и близко к гигиеническому нормативу его допустимого содержания (5 мкг/г сырой массы). Повышенное содержание общего мышьяка в мышцах в целом характерно для промысловых донных рыб Баренцева моря. Содержание мышьяка в печени исследованных рыб сильно варьирует, в среднем в 1,7 раза превышая таковое в мышцах. Отмечена связь содержания мышьяка в мышцах рыб с жирностью печени. Сделан вывод, что применение действующего норматива безопасного уровня содержания общего As к промысловой рыбе Баренцева моря создает избыточные ограничения на ее реализацию как пищевой продукции, напрямую не связанные с ее реальным качеством.

Ключевые слова: мышьяк, пятнистая зубатка, полосатая зубатка, морская камбала, мышцы, печень

ON THE CONCENTRATION OF ARSENIC IN DEMERSAL FISHES OF THE BARENTS SEA

Mikhail A. Novikov, Elena A. Gorbacheva

Polar Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (PINRO), Murmansk, Russia, mnovik@pinro.ru, gorbach@pinro.ru

Abstract. Based on research findings of 2011–2021, the study presents data on the total content of arsenic in muscle and liver of demersal fishes in the Barents Sea: cod *Gadus morhua*, haddock *Melanogrammus aeglefinus*, long rough dab *Hippoglossoides platessoides*, Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides*, plaice *Pleuronectes platessa*, spotted catfish *Anarhichas minor* and Atlantic catfish *Anarhichas lupus*. Average content of arsenic in muscle of haddock, long rough dab and spotted catfish was found to be high, close to the maximum concentration of 5 μg/g of wet weight acceptable by sanitary standards. High concentration of arsenic in muscles is quite common in the commercial demersal fishes of the Barents Sea. The content of arsenic in liver of the studied species demonstrates a considerable variability, being on average 1.7 times higher than in muscle. A correlation was revealed between arsenic concentration in muscles and liver fattiness. It was concluded that applying the current standard of acceptable arsenic concentration to food products made from commercial Barents Sea fishes might evoke excessive marketing constraints regardless of the actual product quality.

Keywords: arsenic, spotted catfish, Atlantic catfish, plaice, muscle, liver

Известно, что на формирование микроэлементного состава водных организмов оказывают влияние состав среды обитания, состав потребляемой пищи и их биологические особенности (Морозов, Петухов, 1986; Виноградов, 2001).

Накопление в органах и тканях морских гидробионтов многих микроэлементов обусловлено их способностью замещать другие, близкие по свойствам микроэлементы. Арсениты, являясь аналогами фосфатов, определяют в известной степени накопление мышьяка в организме гидробионтов (Мур, Рамамурти, 1987). В морских животных преобладающей формой мышьяка является арсенобетаин, триметилированное пятивалентное соединение мышьяка, выявленное в 1977 г. (Edmonds et al., 1977). Содержание мышьяка в гидробионтах зависит от сезона и связано с особенностями питания. Следует отметить, что мышьяк поглощается гидробионтами в основном с пищей, и его токсичные неорганические

соединения способны быстро образовывать прочные комплексы с низкомолекулярными органическими соединениями, которые не представляют опасности для человека и к тому же быстро выводятся из организма (Мур, Рамамурти, 1987).

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 (2002), в мышцах (филе, фарш) морских рыб содержание общего мышьяка не должно превышать 5,0 мкг/г сырой массы. В печени рыб содержание этого микроэлемента в РФ нормируется только в рамках технического регламента Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (Технический.., 2011).

Ранее нами рассматривалась проблема содержания общего мышьяка в мышцах и печени ряда промысловых рыб Баренцева моря (Новиков и др., 2021). В данной работе мы расширили список исследованных рыб, включив в него полосатую и пятнистую зубаток, а также проанализировали новые данные за 2021 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для исследований собирался в рамках комплексных научных экспедиций, главным образом, на судах «Вильнюс» и «Фритьоф Нансен» ПИНРО им. Н.М. Книповича в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

Для анализа были отобраны пробы мышечной ткани от пяти промысловых рыб Баренцева моря: атлантической трески *Gadus morhua* (*n* = 282), пикши *Melanogrammus aeglefinus* (*n* = 178), камбалы-ерша *Hippoglossoides platessoides* (*n* = 180), черного, или синекорого палтуса *Reinhardtius hippoglossoides* (*n* = 148), морской камбалы *Pleuronectes platessa* (*n* = 82), зубатки пятнистой (пестрой) *Anarhichas minor* (*n* = 43) и зубатки полосатой *Anarhichas lupus* (*n* = 31), пойманных в результате учетных тралений в период с 2011 по 2021 гг. включительно практически на всей акватории Баренцева моря. Данные по зубаткам приводятся за период с 2013 г. Исследование содержания мышьяка в печени выполнялось у тех же рыб, но на меньшем количестве экземпляров.

Отбор проб рыб, их консервацию и хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО (Изучение экосистем.., 2004). По завершении отбора пробы были заморожены при минус 20 °С для доставки в стационарную лабораторию. Подготовка и химический анализ проб биоты выполнены в ПИНРО им. Н.М. Книповича в соответствии с действующими методическими руководствами (ГОСТ Р 51766-2001). Подготовку проб проводили методом «мокрой» минерализации азотной кислотой с перекисью водорода в микроволновой системе пробоподготовки МС-6 (НТФ «Вольта», Россия). Содержание общего мышьяка в пробах определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы “Shimadzu”, модель АА-6800 (Япония). Для калибровки использовали стандартный образец раствора ионов мышьяка ГСО 7143-95. Относительная погрешность определения As составляла не более 5%.

Содержание мышьяка в промысловых рыбах указывали в мкг/г сырой массы. Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel и программе Statistica 13.

При оценке влияния жирности мышц и печени рыб на содержание As использовали опубликованные ранее данные ПИНРО (Константинова и др., 1997).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что среднее содержание общего мышьяка в мышцах исследованных рыб Баренцева моря весьма близко к уровню норматива СанПиН 2.3.2.1078-01 (табл. 1), как это уже отмечалось нами (Новиков и др., 2021). Распределение содержания общего As в мышцах отличается от нормального по критерию Шапиро–Уилка у трески, пикши, камбалы-ерша и пятнистой зубатки. У черного палтуса, морской камбалы и полосатой зубатки гипотеза о нормальном распределении содержания As не отвергается. При этом среднее содержание общего мышьяка в баренцевоморских рыбах относительно близкое. Межвидовые различия сравнительно невелики, за исключением разве что черного палтуса,

Таблица 1. Содержание общего мышьяка в мышцах донных рыб Баренцева моря, *m* — стандартная ошибка среднего арифметического
Table 1. Concentration of total arsenic in the muscles of bottom fish in the Barents Sea, *m* is the standard error of the mean

Вид рыбы	Диапазон содержания, мкг/г	Стандартное отклонение	Среднее содержание ± *m*, мкг/г сырой массы	Процент рыб с превышением норматива содержания мышьяка
Gadus morhua	0,2–21,25	2,74	4,58 ± 0,17	38
Melanogrammus aeglefinus	0,34–18,87	2,94	5,32 ± 0,22	51
Hippoglossoides platessoides	0,2–12,75	2,31	5,34 ± 0,17	48
Reinhardtius hippoglossoides	0,53–7,60	1,28	3,43 ± 0,11	12
Pleuronectes platessa	1,01–8,70	1,49	4,76 ± 0,16	41
Anarhichas minor	2,07–10,8	2,11	5,24 ± 0,32	47
Anarhichas lupus	0,9–8,04	1,70	4,04 ± 0,30	25

вылавливаемого преимущественно в западной части Баренцева моря.

Межгодовая динамика показателей содержания общего мышьяка в мышцах исследованных рыб, с учетом данных за 2021 г., не показывает достоверных трендов для трески, пикши, черного палтуса и камбалы-ерша (Новиков и др., 2021), а также морской камбалы, пятнистой и полосатой зубаток, о чем свидетельствуют весьма низкие коэффициенты регрессии, приведенные на диаграмме на рис. 1.

Таким образом, подтверждается высказанное нами ранее предположение, что высокое с точки зрения норматива содержание общего As в мышцах, является физиолого-биохимической нормой для популяций рассмотренных представителей промысловой ихтиофауны Баренцева моря (Новиков и др., 2021). Можно с достаточной долей уверенности говорить о том, что превышение санитарно-гигиенического критерия в 5 мкг/г до определенного предела не может достоверно свидетельствовать о загрязнении или критическом (опасном для конечного потребителя, человека) содержании мышьяка в промысловой рыбе из Баренцева моря.

В дополнение можно привести данные иностранных авторов, относящиеся к рассматриваемому региону. Так, согласно данным норвежских исследователей, в мышцах атлантической трески из Баренцева, Норвежского и Северного морей, выловленной в 1995–2000 гг., среднее содержание общего мышьяка составляло 6,2 мкг/г сырой массы (n = 150) с диапазоном фактического содержания 0,5–52,0 мкг/г (Julshamn et al., 2004), что на 32,4% выше наших значений. По данным этих же авторов, в период 2006–2010 гг. в мышцах трески из Норвежского и западной части Баренцева морей содержание общего мышьяка составило в среднем 10,5 мкг/г сырой массы (n = 190) с диапазоном содержания 0,38–110 мкг/г (Julshamn et al., 2012). Среднее содержание As в палтусе за весь период исследований по норвежским данным составляло порядка 8,1–11,3 мкг/г сырой массы (Julshamn et al., 2011, 2012), что значительно выше полученных нами значений (табл. 1).

Согласно методическому подходу, предложенному нами ранее (Новиков и др., 2021), расчетные величины фонового содержания общего мышьяка (уровень 95 процентиля) для пятнистой и полосатой зубаток составили 9,9 и 6,4 мкг/г сырой массы соответственно. Таким образом, для пятнистой зубатки приведенный показатель находится на уровне трески (10 мкг/г), пикши (11,9) и камбалы-ерша (11,1) (Новиков и др., 2021), у которых содержание общего As в мышцах отличается относительно высокой вариабельностью. Для полосатой зубатки фоновый показатель содержания общего As в мышцах наименьший для всех исследованных рыб. В пределах приведенных величин содержание общего As соответствует его естественному природному уровню, характерному для данных видов рыб в Баренцевом море.

Из наших и других опубликованных материалов можно сделать предварительное заключение, что у типичных донных рыб-бентофагов, в данном случае у камбалы-ерша, пикши и пятнистой зубатки, среднее содержание общего мышьяка в мышцах обычно выше, чем у рыбоядных пелагических хищников, таких как черный палтус, треска, скумбрия и др. (Neff, 1997; Julshamn et al., 2011, 2012; Чупикова и др., 2019; Новиков и др., 2021). Несколько особняком располагается полосатая зубатка.

Из таблицы 2 следует, что содержание As в печени превышает таковое в мышцах примерно в 1,7 раза, но отличается значительной вариабельностью: об

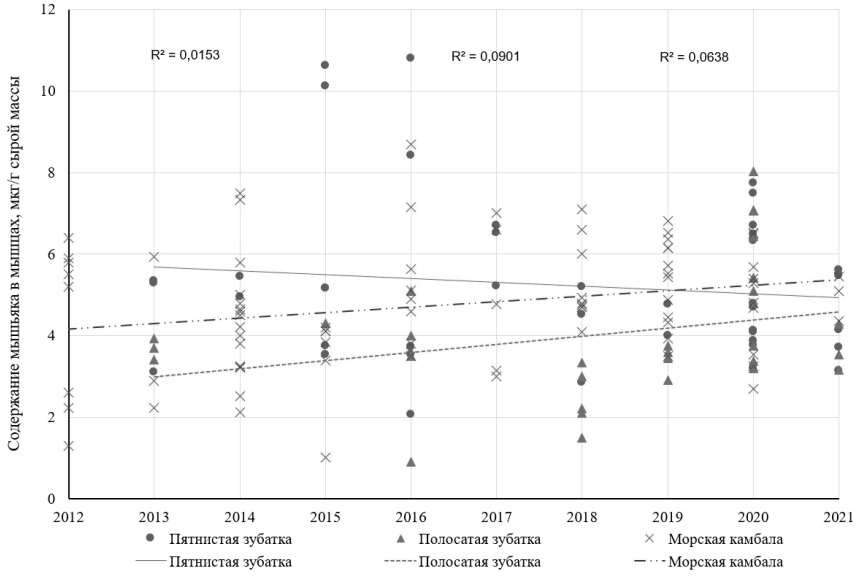

Рис. 1. Динамика содержания общего мышьяка в мышцах некоторых донных рыб Баренцева моря в период 2012–2021 гг. с указанием линий трендов и коэффициентов регрессии
Fig. 1. The dynamics of the concentration of total arsenic in the muscles of some demersal fish in the Barents Sea in the period 2012–2021 with indication of trend lines and regression coefficients

этом свидетельствуют высокие значения стандартного отклонения и коэффициента вариации (*CV*): от 62,5% у палтуса до 100,9% у пикши. Распределение содержания общего As в печени всех исследованных рыб отличается от нормального по критерию Шапиро–Уилка. Наблюдается обратная зависимость вариабельности содержания мышьяка в печени донных рыб с жирностью их мышц (мяса). Содержание As в печени эпизодически может быть очень низким, даже ниже, чем в мышцах, что отмечено почти у всех исследованных нами рыб.

Коэффициенты корреляции Спирмена (r_s) при сравнении содержания As в мышцах и печени исследованных рыб были не высоки: треска — 0,27 (n = 277), пикша — 0,17 (n = 166), камбала-ерш — 0,18 (n = 135), черный палтус — 0,16 (n = 65), морская камбала — 0,22 (n = 61), пятнистая зубатка — 0,24 (n = 43), полосатая зубатка — 0,29 (n = 30), что подтверждает наше предположение о том, что содержание As в печени рыб является неустойчивым показателем, зависящим от различных причин, например, от сезона или рациона рыбы в предшествовавший вылову период жизни.

На млекопитающих показано, что печень обычно является основным органом-мишенью для метаболизма мышьяка (Marafante et al., 1985; Geubel et al., 1988; Khairul et al., 2017). Принято считать, что наибольшее количество As концентрируется у рыб в жировой фракции печени и других органов (Виноградов, 2001). На основе наших данных можно предположить, что мышьяк не склонен к депонированию в печени рыб, как это характерно, например, для большинства металлов (Морозов, Петухов, 1986), а напротив, подвергается в ней активному метаболизму, результатом которого является перемещение части его соединений в мышцы. И чем жирнее печень, тем больше мышьяка оказывается в мышцах. Наиболее характерные примеры — треска и пикша.

С целью изучения связи питания рыбы и содержания мышьяка в ней был выполнен расширенный статистический анализ содержания общего As в видах рыб, которым ранее мы уделили меньше внимания (Новиков и др., 2021). Так, отдельной статистической обработке были подвергнуты данные о содержании мышьяка в мышцах и печени морской камбалы, пестрой зубатки и зубатки полосатой, выловленных в юго-восточных районах Баренцева моря в период с 2018 по 2020 гг. Выбор этих трех видов рыб для сравнения был обусловлен тем, что в указанный период они были пойманы примерно в одном районе моря, в целом характерном для их обычного обитания (рис. 2).

Результаты теста Крускала–Уоллиса показали, что морская камбала, пятнистая и полосатая зубатки, пойманные в одном и том же районе Баренцева моря, статистически значимо не отличались по содержанию общего As в мышцах (H = 7,2, n = 69, p = 0,075). Вместе с тем с позиций одностороннего дисперсионного анализа различия в содержании мышьяка в печени этих трех видов рыб оказались статистически достоверными (H = 12,5, n = 68, p = 0,002). Чтобы понять, какие именно виды рыб отличались между собой по содержанию мышьяка в печени, провели попарные сравнения выборок с использованием теста Манна–Уитни (U-критерий). Содержание мышьяка в печени полосатой зубатки оказалось статистически значимо ниже, чем у зубатки пятнистой (U = 71, Z = –3,0, p = 0,003) и морской камбалы (U = 147, Z = 3,1, p = 0,002). Различия в содержании мышьяка в мышцах морской камбалы и пятнистой зубатки были статистически не значимы (U = 248, Z = 0,31, p = 0,75) (рис. 3).

Наибольшее содержание жира в печени рассмотренных выше трех видов рыб, по нашим данным, было у пятнистой зубатки — 24,2%, наименьшее у морской камбалы — 6,5%. У полосатой зубатки содержание жира составляло 16,7%. Наибольшее содержание общего As в мышцах также отмечено у пестрой зубатки (табл. 1).

В научной литературе сведения о содержании мышьяка в печени рыб встречаются не часто. Известно, что у пяти видов донных рыб (*Pomadasys* sp., *Platycephalus* sp., *Epinephelus tauvina*, *Otolithes rubber*, *Pampus argenteus*) из Персидского залива среднее содержание мышьяка в печени превышало накопление этого элемента в мышцах в 1,4 раза (Agah et al.,

Таблица 2. Содержание общего мышьяка в печени донных рыб Баренцева моря, m — стандартная ошибка среднего арифметического
Table 2. Concentration of total arsenic in the liver of bottom fish in the Barents Sea, m is the standard error of the mean

Вид рыбы	Диапазон содержания, мкг/г	Стандартное отклонение	Среднее содержание ± m, мкг/г сырой массы	Превышение содержания в мышцах, разы
Gadus morhua	0,14–63,9	6,62	6,97 ± 0,40	1,52
Melanogrammus aeglefinus	0,23–80,2	8,83	8,75 ± 0,68	1,64
Hippoglossoides platessoides	0,5–52,0	8,36	12,09 ± 0,72	2,26
Reinhardtius hippoglossoides	0,02–29,9	6,34	10,14 ± 0,79	3,04
Pleuronectes platessa	0,81–20,7	4,92	7,12 ± 0,63	1,50
Anarhichas minor	0,74–22,1	4,67	6,02 ± 0,71	1,19
Anarhichas lupus	0,19–18,2	3,21	3,57 ± 0,59	0,88

2009), что не противоречит нашим результатам. При этом среднее содержание мышьяка в мышцах и печени рыб, выловленных в Персидском заливе, оказалось значительно ниже, чем в изученных нами видах рыб Баренцева моря, и составляло 0,3–1 и 0,42–2,5 мкг/г сырой массы соответственно.

Как упоминалось выше, мышьяк поступает в организм рыб преимущественно с пищей (Мур, Рамамурти, 1987). По опубликованным данным, морская камбала, зубатки полосатая и пятнистая питаются преимущественно донными беспозвоночными (Антипова, Ковцова, 1982; Барсуков, Шевелев, 1986; Ковцова, 1986;

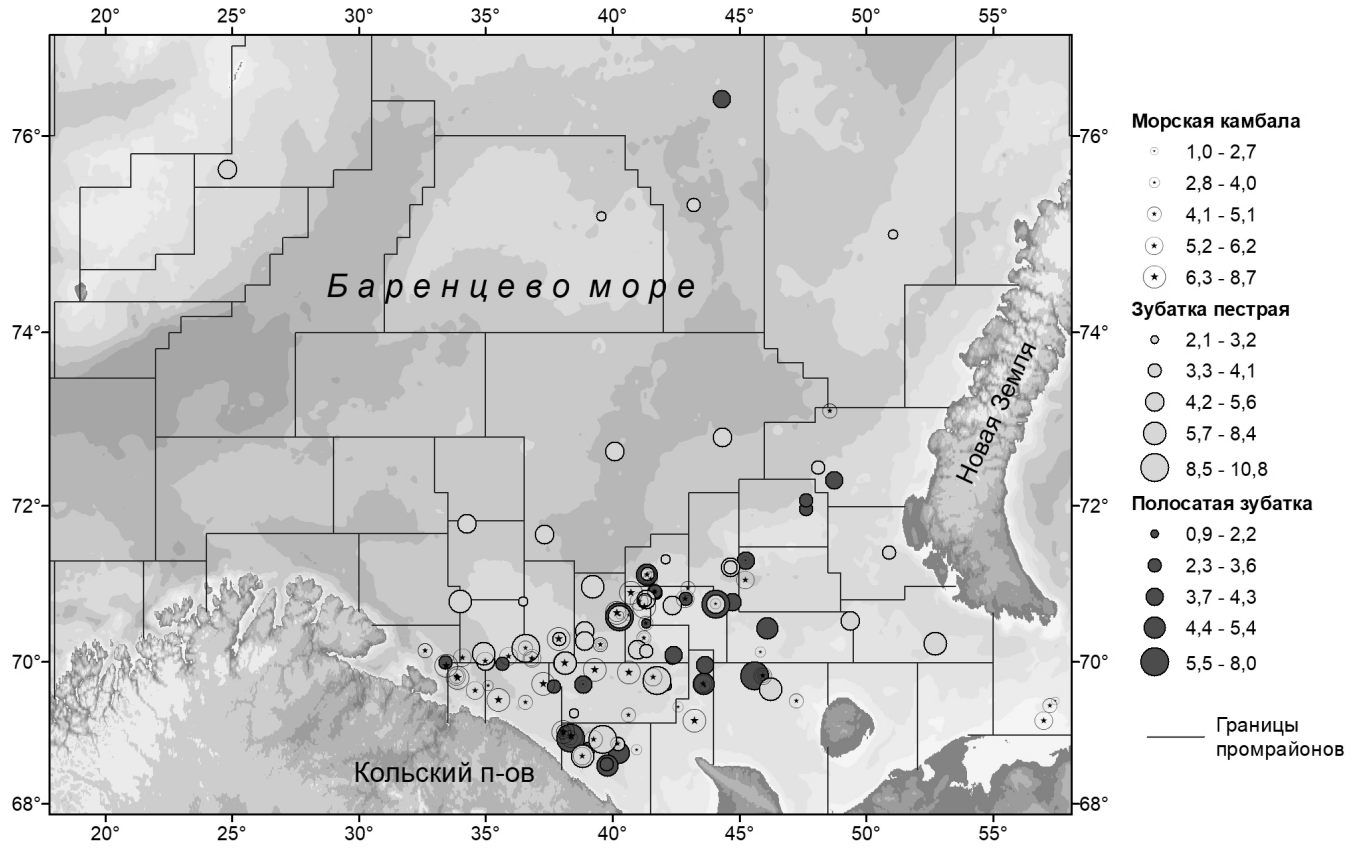

Рис. 2. Содержание общего мышьяка в мышцах некоторых донных рыб Баренцева моря в период 2018–2020 гг., мкг/г сырой массы
Fig. 2. The concentration of total arsenic in the muscles of some demersal fish in the Barents Sea in the period 2018–2020, μg/g wet weight

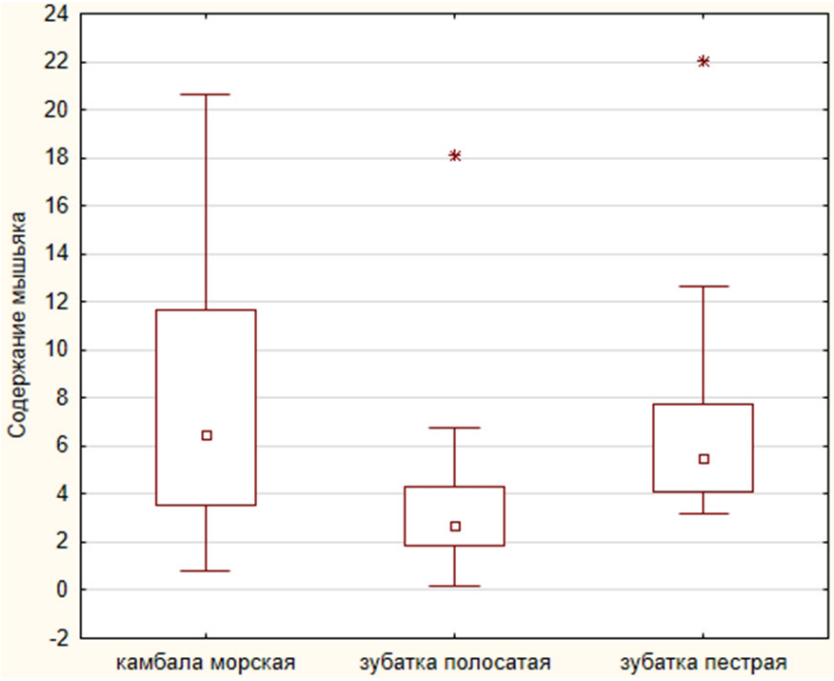

Рис. 3. Сравнение среднего содержания мышьяка в печени ряда донных рыб Баренцева моря с использованием U-критерия в среде Statistica 13, мкг/г сырой массы (звездочками показаны выбросы)
Fig. 3. Comparison of the average arsenic concentration in the liver in some of demersal fish from the Barents Sea using the U-test in Statistica 13 medium, μg/g ww (asterisks indicate outliers)

Орлова и др., 1989; Долгов, 2016). Кроме того, в питании зубаток в Баренцевом море нередко встречаются отходы промысла (Долгов, 2016). Следует отметить, что содержание мышьяка в донных беспозвоночных Баренцева моря варьирует в широком диапазоне: от 0,52 до 14,1 мкг/г сырой массы (Лаптева, 2002). По данным исследований ПИНРО, в морском гребешке *Chlamys islandica*, крабе-пауке *Hyas araneus* и раке-отшельнике *Pagurus pubescens*, обитающих в Баренцевом море, среднее содержание общего As составляло 1,15–5,4 мкг/г сырой массы, а в двустворчатом моллюске *Serripes groenlandicus*, актинии *Actiniaria* g. sp., морских звездах *Urasterias lincki* и *Solaster* sp. оно было выше — 6–8,9 мкг/г сырой массы (Лаптева, 2002, 2013). Отличие в уровне содержания общего мышьяка в печени морской камбалы, полосатой и пятнистой зубаток, выловленных в одном районе моря, может быть обусловлено существенной разницей в спектрах питания этих видов рыб. Исследования питания рыб, выловленных на тех же станциях, что и для химического анализа, показали, что полосатая зубатка, характеризующаяся относительно низким средним содержанием мышьяка в мышцах и печени, питалась преимущественно двустворчатыми и брюхоногими моллюсками, раками-отшельниками, в то время как пятнистая зубатка, имеющая более высокое среднее содержание общего As, — офиурами, отходами промысла, морскими звездами, мойвой и другими рыбами (из базы данных ПИНРО). Отмечено, что спектр питания полосатой зубатки, как правило, уже, чем у зубатки пятнистой (Барсуков, Шевелев, 1986). Возможно, в питании полосатой зубатки доминируют гидробионты с более низким содержанием мышьяка. Так, например, по данным исследований (Орлова и др., 1989), в прибрежье Мурмана в питании полосатой зубатки, наряду с крабами и раками-отшельниками, преобладали двустворчатые моллюски *C. islandica*, среднее содержание мышьяка в мышцах которых весьма низкое — 1,15 мкг/г сырой массы (Лаптева, 2002). Основу питания морской камбалы, выловленной в районе исследований, составляли полихеты, немертины, сипункулиды и двустворчатые моллюски. Несмотря на различия в спектрах питания, среднее содержание общего мышьяка в печени морской камбалы и пятнистой зубатки оказалось сходным. Возможно, в питании морской камбалы и пятнистой зубатки, по сравнению с полосатой зубаткой, преобладали гидробионты с более высоким содержанием общего мышьяка в тканях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований уточнены данные о содержании общего мышьяка в мышцах и печени ряда промысловых донных рыб Баренцева моря. Приведены новые данные о содержании мышьяка в тканях пятнистой (пестрой) и полосатой зубаток. Показано, что применяемый сегодня нормативный показатель допустимого содержания общего мышьяка в морской рыбе (5 мкг/г сырой массы) вступает в противоречие с фоновыми значениями его содержания в важнейших промысловых рыбах Северного бассейна, с региональным фоном. Региональный фон нормального содержания общего As в мышцах пятнистой и полосатой зубаток по нашим расчетам составляет < 9,9 мкг/г и < 6,4 мкг/г сырой массы соответственно. Показана высокая вариабельность содержания общего As в печени исследованных донных рыб. Отмечена связь содержания мышьяка в мышцах рыб с жирностью печени. Выловленные примерно в одном и том же районе полосатые зубатки имеют значимые отличия в содержании мышьяка в печени по сравнению с пятнистой зубаткой и морской камбалой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Антипова Т.В., Ковцова М.В. 1982. Сравнительная характеристика суточного хода питания трески и пикши Баренцева моря // Экология и промысел донных рыб Северо-Европейского бассейна. Мурманск: ПИНРО. С. 43–56.

Барсуков В.В., Шевелев М.С. 1986. Зубатки / Ихтиофауна и условия ее существования в Баренцевом море (Гл. ред. Г.Г. Матишов). Кол. фил. АН СССР, ММБИ КНЦ РАН. Апатиты. С. 34–40.

Виноградов А.П. 2001. Химический элементарный состав организмов моря. М.: Наука. 620 с.

ГОСТ Р 51766-2001. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. 2007. М.: Стандартинформ. 10 с.

Долгов А.В. 2016. Состав, формирование и трофическая структура ихтиоценов Баренцева моря. Мурманск: ПИНРО. 335 с.

Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. 2004. Вып. 1: Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики (Отв. ред. М.С. Шевелев). М.: ВНИРО. 299 с.

Ковцова М.В. 1986. Морская камбала / Ихтиофауна и условия ее существования в Баренцевом море (Гл. ред. Г.Г. Матишов). Кол. фил. АН СССР, ММБИ КНЦ РАН. Апатиты. С. 40–42.

Константинова Л.Л., Двинин Ю.Ф., Лебская Т.К., Кузьмина В.И. 1997. Технохимические свойства промысловых рыб Северной Атлантики и прилегающих морей Северного Ледовитого океана. Мурманск: ПИНРО. 183 с.

Лаптева А.М. 2002. Мышьяк в органах и тканях гидробионтов Баренцева моря // Матер. Междунар. конф. «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения» (Архангельск, 17–22 июня 2002 г.). Архангельск: Ин-т экологич. проблем Севера УрО РАН. Т. 2. С. 444–447.

Лаптева А.М. 2013. Микроэлементы в беспозвоночных Баренцева моря // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. (Петропавловск-Камчатский, 18–23 марта 2013 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 35–39.

Морозов Н.П., Петухов С.А. 1986. Микроэлементы в промысловой ихтиофауне Мирового океана. М.: Агропромиздат. 160 с.

Мур Дж., Рамамурти С. 1987. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния. М.: Мир. 288 с.

Новиков М.А., Горбачева Е.А., Лаптева А.М. 2021. Содержание мышьяка в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) // Изв. ТИНРО. Т. 201, № 4. С. 833–844.

Орлова Э.Л., Берестовский Е.Г., Карамушко Л.И., Савелова Е.А. 1989. Возрастные изменения в питании баренцевоморских зубаток *Anarhichas lupus, A. minor, A. denticulatus* / Трофические взаимоотношения организмов бентоса и донных рыб Баренцева моря. Апатиты: Кольский научный центр РАН. С. 4–13.

СанПиН 2.3.2.1078-01. 2002. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: ИнтерСЭН. 168 с.

Технический регламент Таможенного Союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС-021-2011). 2011. М.: Росстандарт. 242 с.

Чупикова Е.С., Ткаченко С.А., Борисенко Г.С., Ковековдова Л.Т., Попков А.А. 2019. Мониторинг показателей безопасности скумбрии японской / Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования: Матер. II Нац. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию кафедры экологии моря ФГБОУ ВУ «КГТУ» (Керчь, 15–17 мая 2019 г.). Симферополь: Ариал. С. 248–252.

Agah H., Leermakers M., Elskens M., Rez Fatemi S.M., Baeyens W. 2009. Accumulation of trace metals in the muscle and liver tissues of five fish species from the Persian Gulf // Environ. Monit. Assess. Vol. 157. P. 499–514.

Edmonds J.S., Francesconi K.A., Cannon J.R., Raston C.L., Skelton B.W., White A.H. 1977. Isolation, crystal structure and synthesis of arsenobetaine, the arsenical constituent of the western rock lobster *Panurillus longipes cygnus* George // Tetrahedron Lett. Vol. 18 (18). P. 1543–1546.

Geubel A.P., Mairlot M.C., Buchet J.P., Dive C., Lauwerys R. 1988. Abnormal methylation capacity in human liver cirrhosis // *International Journal of Clinical Pharmacology Research.* Vol. 8 (2). P. 117–122.

Julshamn K., Frantzen S., Valdersnes S., Nilsen B., Maage A.,Nedreaas K. 2011. Concentrations of mercury, arsenic, cadmium and lead in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) caught off the coast of northern Norway // Marine Biology Research. Vol. 7:8. P. 733–745.

Julshamn K., Lundebye A.K., Heggstad K., Berntssen M.H.G., Boe B. 2004. Norwegian monitoring programme on the inorganic and organic contaminants in fish caught in the Barents Sea, Norwegian Sea and North Sea, 1994–2001 // Food Additives and Contam. Vol. 21. P. 365–376.

Julshamn K., Nilsen B.M., Frantzen S., Valdersnes S., Maage A., Nedreaas K., Sloth Jens J. 2012. Total and inorganic arsenic in fish samples from Norwegian waters // Food Additives and Contam.: Part B: Surveillance. Vol. 5. Is. 4. P. 229–235.

Khairul I., Wang Q.Q., Jiang Y.H., Wang C., Naranmandura H. 2017. Metabolism, toxicity and anticancer activities of arsenic compounds // Oncotarget. Vol. 8. P. 23905–23926.

Marafante E., Vahter M., Envall J. 1985. The role of the methylation in the detoxication of arsenate in the rabbit // Chemico-*Biological Interactions*. Vol. 56. P. 225–238.

Neff J.M. 1997. Ecotoxicology of arsenic in the marine environment // Environ. Toxicology and Chemistry. Vol. 16:9. P. 17–27.

УДК 574.21:574.63

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ У БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *FUCUS DISTICHUS* ИЗ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В 2021 Г.

Лилия Андреевна Позолотина[1], Анна Валерьевна Климова[2]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, pozolotina.l.a.@kamniro.ru
[2]Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. Представлены данные по содержанию металлов (Zn, Cu, Cd, Pb) в образцах бурой водоросли *Fucus distichus* (Fucales), собранных с апреля по сентябрь 2021 г. в прибрежных водах Юго-Восточной Камчатки (Авачинская губа, Авачинский залив). Полученные результаты использовали для оценки экологического состояния исследованных акваторий на предмет их металлического загрязнения. С помощью методов биоиндикации выявлено, что бух. Раковая испытывает антропогенное влияние большой интенсивности, диапазон содержания Zn у фукуса варьировал от 36 до 101 мкг/г сух. массы. Статистически различаются значения содержаний Pb и Cu у вида-монитора из бух. Раковой и бухт горла Авачинской губы, характеризующихся низкой степенью антропогенного влияния. С помощью индекса металлического загрязнения (MPI) определены уровни комплексного загрязнения районов исследуемой акватории тяжелыми металлами. Установлено, что во внутренней части Авачинской губы, у городского побережья, уровень металлического загрязнения в 1,8 раз выше, чем в районах с интенсивным смешением прибрежных вод бухты океаническими водными массами Авачинского залива.

Ключевые слова: Авачинская губа, вид-монитор, *Fucus distichus*, индекс металлического загрязнения, цинк, кадмий, медь, свинец

Благодарности: авторы выражают благодарность сотрудникам КамчатГТУ А.Н. Кашутину, Р.Г. Болотовой и инженеру КамчатНИРО К.Е. Петриченко за помощь в сборе материала.

LEVELS OF METAL CONCENTRATIONS IN THE BROWN ALGAE *FUCUS DISTICHUS* FROM AVACHA BAY (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA) IN 2021

Liliya A. Pozolotina[1], Anna V. Klimova[2]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, pozolotina.l.a.@kamniro.ru
[2]Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. Data on the concentration of metals (Zn, Cu, Cd, Pb) in samples of the brown algae *Fucus distichus* (Fucales) collected from April to September 2021 in the coastal waters of South-Eastern Kamchatka (Avacha Bay, Avachinsky Gulf) are presented. The results obtained were used to ecological assessment of metal contamination in the studied areas. Based on bioindication methods, it was revealed that the Rakovaya Bay is experiencing an anthropogenic impact of highest intensity, the range of Zn content in algae varied from 36 to 101 μg/g dry weight. The values of Pb and Cu contents are statistically different in the monitor species from Rakovaya Bay and the bays of the throat of Avacha Bay, which are characterized by a low level of anthropogenic impact. Using the metal pollution index (MPI), the levels of complex metal pollution of the sites of the study area were determined. It has been established that in the inner part of the Avacha Bay, near the city coast, the level of metal pollution is 1.8 times higher than in areas with intensive mixing of the coastal waters of the bay with the oceanic water masses of the Avachinsky Gulf.

Keywords: Avacha Bay, monitor species, *Fucus distichus*, metal pollution index, zinc, cadmium, copper, lead

Acknowledgments: the authors are grateful to the staff of KamchatGTU A.N. Kashutin, R.G. Bolotova and engineer K.E. Petrichenko from KamchatNIRO for their help in collecting the material.

Для установления характера и степени загрязнения водной среды различными поллютантами определяют концентрации исследуемых химических веществ в воде, донных осадках или гидробионтах. Накопление данных о содержании загрязнителей в компонентах экосистемы исследуемой акватории позволяет более

корректно рассчитать их геохимический фон и пороговые концентрации (Чернова, Коженкова, 2016), превышение которых может оказывать негативное влияние на экосистему в целом, и на промысловые виды гидробионтов в частности. Поэтому разработке научно обоснованных методов нормирования антропогенного воздействия на окружающую среду уделяется все больше внимания (Лукашев, 2007; Коженкова, Чернова, 2018).

Для экологического мониторинга прибрежных вод подходящими объектами являются гидробионты, которые отражают интегрированное во времени содержание биодоступных форм загрязняющих веществ в среде. К числу приоритетных загрязняющих веществ морских экосистем относят тяжелые металлы. Металлы не исчезают из водных экосистем, а постоянно перераспределяются по отдельным компонентам и накапливаются в гидробионтах различных трофических уровней. Для установления характера и степени загрязнения компонентов морской среды применяют специальные коэффициенты и индексы.

Бурые водоросли рода *Fucus* используют в качестве видов мониторов металлического загрязнения прибрежных вод (Bryan, Hummerstone, 1973; Золотухина и др., 1988; Христофорова, 1989; Облучинская и др., 2013; Коженкова, Чернова, 2018). Фукусовые водоросли способны абсорбировать и накапливать ионы металлов благодаря наличию в их слоевищах сульфатированного полисахарида — фукоидана.

Цель данной работы — провести сравнительную оценку уровней содержания металлов (Zn, Cu, Pb, Cd) у бурой водоросли *Fucus distichus* из разных районов северо-восточного побережья Авачинской губы в 2021 г. и с помощью индекса металлического загрязнения (MPI) оценить степень антропогенного загрязнения исследованных акваторий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В 2021 г. с апреля по сентябрь (не менее 1 раза в месяц) было собрано и проанализировано 34 образца фукуса из Авачинской губы (бухта Сероглазка, близ сопки Никольской, мыс Санникова, бухта Раковая, бухта Завойко, бухта Малая Лагерная, бухта Большая Лагерная, бухта Шлюпочная), единичные сборы из бухты Петропавловской (Авачинская губа) и возле мыса Налычево (Авачинский залив) (рис. 1).

В ходе пробоподготовки образцы водорослей промывали, очищали от эпифитов, высушивали при комнатной температуре, затем измельчали и сушили при 60 °C не менее суток в сушильном шкафу. Для анализа взвешивали ~ 0,4 г сухих водорослей, помещали их в раствор концентрированной азотной кислоты (о.с.ч.) и деионизированной воды (6:2). Разложение образцов

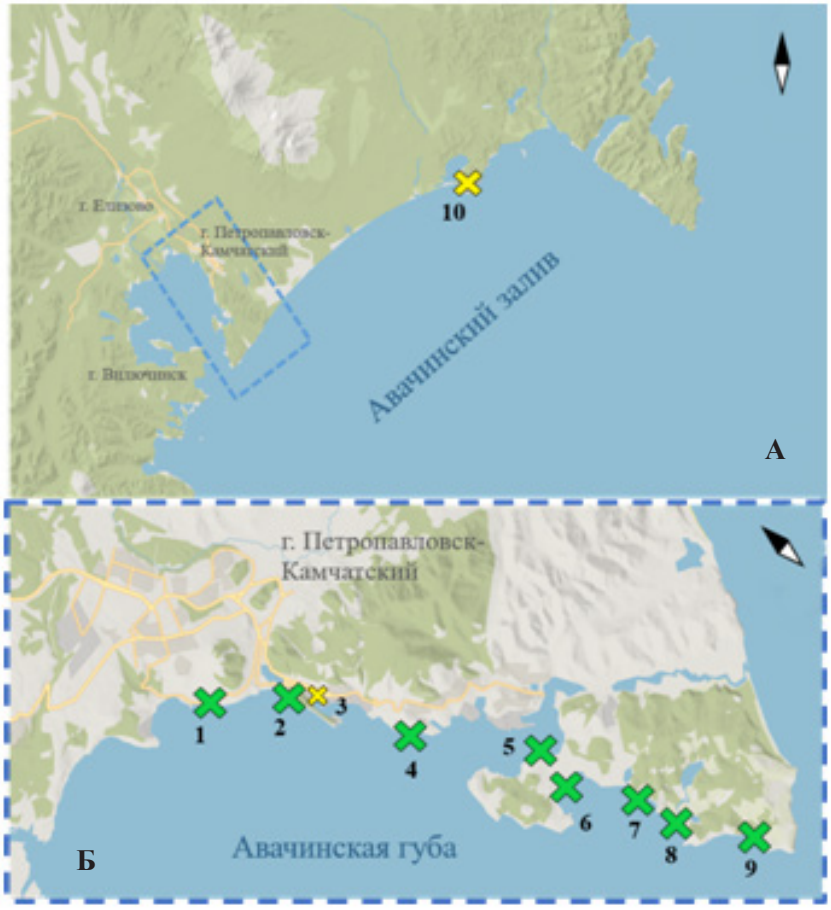

Рис. 1. Карта-схема района исследований и мест сбора образцов *Fucus distichus*: А — общий вид района исследования, единичный сбор у мыса Налычево (10); Б — места сбора проб у северо-восточного побережья Авачинский губы: 1 — бухта Сероглазка; 2 — сопка Никольская; 3 — бухта Петропавловская (единичный сбор); 4 — мыс Санникова; 5 — бухта Раковая; 6 — бухта Завойко; 7 — бухта Малая Лагерная; 8 — бухта Большая Лагерная; 9 — бухта Шлюпочная
Fig. 1. Schematic map of the study area and sampling sites for *Fucus distichus*: A – general view of the research area, a single collection near Cape Nalychevo (10); Б – sampling sites near the northeastern coast of Avacha Bay: 1 – Seroglazka Bay; 2 – Nikolskaya Hill; 3 – Petropavlovskaya Bay (single collection); 4 – Sannikov Cape; 5 – Rakovaya Bay; 6 – Zavoiko Bay; 7 – Malaya Lagernaya Bay; 8 – Bolshaya Lagernaya Bay; 9 – Slupochnaya Bay

проходило 25 мин при температуре 200 °С. После сжигания полученную пробу доводили деионизированной водой до объема 15 мл. Полученный раствор фильтровали через бумажный фильтр «белая лента». Кислотное озоление водорослевого материала проводили в системе разложения проб Ethos UP (Milestone, Италия) согласно инструкции фирмы-производителя.

Анализ содержания микроэлементов в образцах фукуса проводили с помощью эмиссионного спектрофотометра с микроволновой плазмой “Agilent AES-MP 4200” (Agilent Technologies, США). Для количественного определения элементов использовали калибровочный стандарт 50 ppm “Agilent” (Agilent Technologies, США). Вычисление концентраций элементов и предварительную обработку полученных данных проводили в программе MP Expert (Agilent Technologies, США). Контроль точности определения концентраций металлов проводили по анализу стандартных образцов (ЛБ-1, ЭК-1) с известными концентрациями. Описательную статистику и графическое представление данных выполняли в программе MS Office Excel 2013 и в программе GraghPad Prism 9.3.1. Для сравнения выборок использовали критерии Краскела–Уоллиса и Данна (Kruskal–Wallis test, Dunn’s test). Уровень значимости для всех рассчитанных критериев составлял $p = 0{,}05$.

Для комплексной оценки металлического загрязнения районов сбора водорослей использовали «индекс металлического загрязнения» (metal pollution index, *MPI*) (Usero et al., 1996, 1997; Teodorovic et al., 2000), вычисленный по формуле:

$$MPI = (M_1 \times M_2 \times M_3 \times \ \ldots \ \times M_n)^{1/n},$$

где M_n — концентрация металла (мкг/г), n — общее число исследуемых металлов. Для расчета *MPI* использовали значения содержания металлов Zn, Cu, Pb и Cd у *Fucus distichus*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Получены результаты по содержанию Pb, Cd, Zn, Cu, у *F. distichus* из Авачинской губы в 2021 г. Для сравнительной оценки и выявления статистических различий накопления металлов у фукуса из разных мест исследуемой акватории результаты микроэлементного анализа водорослей из бухт Шлюпочная, Большая Лагерная, Малая Лагерная и Завойко объединили и выделили в группу под названием «горло губы» (рис. 2). Здесь водные массы Авачинской губы уже в большей степени смешиваются с океаническими водами Авачинского залива. Кроме того, в проведенных ранее исследованиях показано, что степень антропогенного влияния на акваторию бухты Завойко идентифицируется как низкая (Позолотина и др., 2020).

Данные по содержанию металлов в водорослях из северо-восточной части Авачинской губы за весь период исследования сгруппированы на рисунке 2 по районам «бухта Сероглазка», «сопка Никольская», «мыс Санникова» и «бухта Раковая». Места единичных сборов, из бухты Петропавловской и у мыса Налычево (Авачинский залив), охарактеризовали как наиболее и наименее подверженные антропогенному воздействию (рис. 2).

Максимальное содержание цинка в 2021 г. выявлено в образцах фукуса из бухты Петропавловской и составило 128,4 мкг/г сух. массы. Минимальное значение этого металла определено в водорослях из Авачинского залива (мыс Налычево) и в образцах из «горла губы», для которых его среднее значение составило 24,0 мкг/г. Статистические различия в содержании цинка выявлены для микропопуляций фукуса, произрастающих в бухте Раковой и горле Авачинской губы. Медианное значение содержания Zn в бухте Раковой составило 91,8 мкг/г сух. массы, в горле губы — 19,1 мкг/г сух. массы. Диапазон его значений в бухте Раковой варьировал от 36 до 101 мкг/г сух. массы.

В 2016 г. при исследовании северо-восточной части Авачинской губы было отмечено большее содержание цинка в водорослях из бухты Петропавловской (Позолотина, Климова, 2020). Согласно ранжированию степени антропогенного влияния на акваторию по уровням содержания цинка у *F. distichus* (Христофорова, 1989), бухта Петропавловская характеризуется районом умеренного загрязнения с большой интенсивностью антропогенного влияния. В 2021 г. в этом районе наблюдалась аналогичная ситуация. Степень антропогенного влияния на бухту Раковую также высокая, судя по уровню содержания Zn у фукуса в 2021 г. Обе бухты представляют полузамкнутые акватории и испытывают хроническое антропогенное загрязнение (Лепская и др., 2014; Клочкова и др., 2016). Бухты Завойко, Малая Лагерная, Большая Лагерная, Шлюпочная и Сероглазка в 2021 г. характеризуются как акватории с низкой степенью антропогенного влияния, поскольку содержание цинка в водорослях из этих бухт не превышает 40 мкг/г (Христофорова, 1989).

Статистически различаются значения содержания меди в образцах фукуса из бухты Раковой и горла губы. Медианные значения для этих групп составили 17,2 и 3,9 мкг/г сух. массы соответственно. В северо-восточной части Авачинской губы наименьшее значение определено в образцах из бухты Сероглазка (2,9 мкг/г сух. массы), медианное значение — 3,9 мкг/г сух. массы.

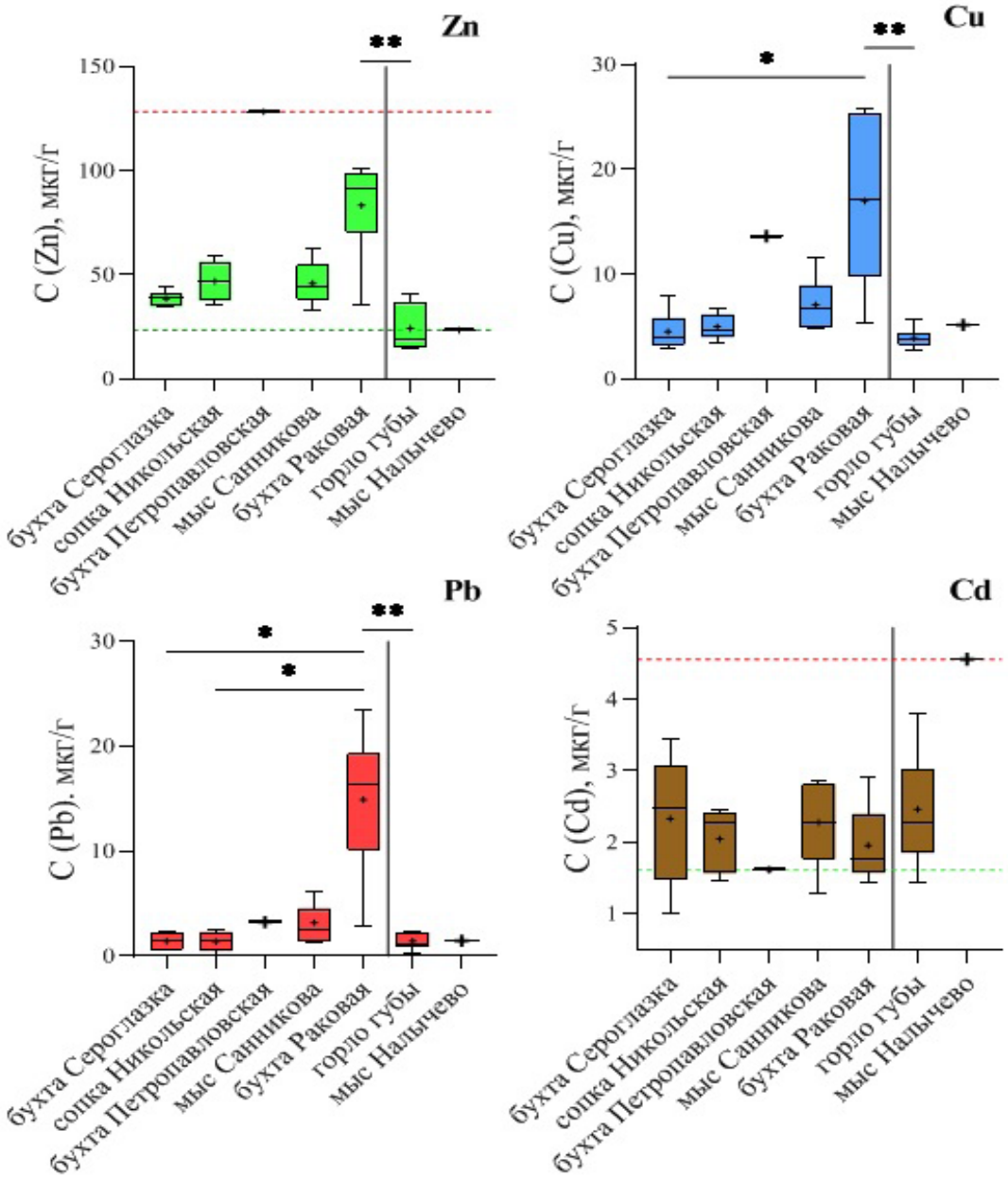

Рис. 2. Сравнительная оценка содержания металлов Zn, Cd, Pb, Cu (мкг/г сух. массы) у *Fucus distichus* из разных районов Авачинской губы и Авачинского залива в 2021 г.
Fig. 2. Comparative assessment of the concentration of the metals Zn, Cd, Pb, Cu (mcg/g dry weight) in *Fucus distichus* from different sites of Avacha Bay and Avachinsky Gulf in 2021

Наибольшее содержание свинца обнаружено в образцах *F. distichus* из бухты Раковой, его содержание варьировало от 2,9 до 23,4 мкг/г сух. массы. Средние значения содержания Pb в микропопуляциях фукуса из бухты Сероглазка, возле сопки Никольской, в горле губы и у образца в Авачинском заливе (мыс Налычево) были близки и составляли 1,4 мкг/г сух. массы.

По содержанию кадмия не выявлено статистически значимых различий между проанализированными пробами водорослей из разных районов Авачинской губы. Максимальное содержание Cd обнаружено в образцах из Авачинского залива, оно составляло 4,6 мкг/г сух. массы. Из литературных источников известно, что содержание Cd в водорослях, произрастающих на открытых океаническому воздействию участках побережья, больше, чем в закрытых акваториях, подверженных разбавлению вод терригенным стоком (Чернова, Шулькин, 2019). Схожие результаты были опубликованы нами ранее для *F. distichus* в прикамчатских водах (Климова, Позолотина, 2020; Позолотина и др., 2020).

Оценку комплексного металлического загрязнения исследуемых районов в 2021 г. проводили путем сравнения полученных значений MPI для бухт северо-восточной части Авачинской губы и горла Авачинской губы (рис. 3). Максимальное значение MPI было выявлено в бухте Раковой в августе и составило 17,5. В целом, во внутренней части Авачинской губы диапазон значений MPI варьировал от 2,6 до 9,2, в горле Авачинской губы — 2,7–5,9.

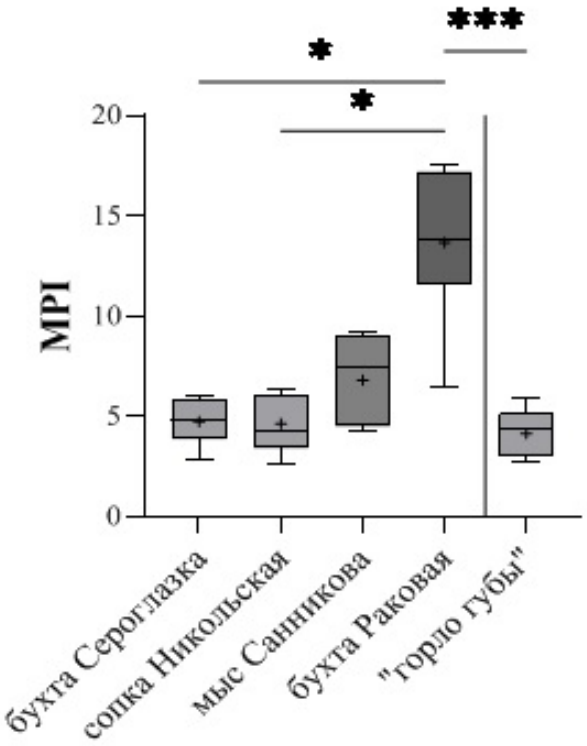

Рис. 3. Оценка степени металлического загрязнения по MPI бухт северо-восточной части Авачинской губы и «горло губы» в 2021 г.
Fig. 3. Assessment of the degree of metal pollution in the bays of the northeastern part of Avacha Bay and the "throat of the bay" in 2021 according to MPI

Уровень комплексного металлического загрязнения исследуемых районов в 2021 г. уменьшался в следующей последовательности: бухта Раковая (*MPI* = 13,7) > мыс Санникова (6,8) > бухта Сероглазка (4,7) ≥ сопка Никольская (4,6) > горло Авачинской губы (4,1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексной оценки металлического загрязнения Авачинской губы выявлены районы с наиболее выраженным антропогенным влиянием. К районам с наибольшей интенсивностью влияния относятся бухты Петропавловская и Раковая. Значения содержания кадмия у образца *Fucus distichus* из Авачинского залива в 2021 г. были выше, чем у образцов из Авачинской губы того же года, что соответствует результатам исследований, проведенных ранее.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Золотухина Е.Ю., Гавриленко Е.Е., Бурдин К.С., Сизов А.Д. 1988. Способ подбора видов-мониторов из бурых и красных макроводорослей, в максимальной степени накапливающих тяжелые металлы для контроля загрязнения морской среды. Авторское свидетельство SU 1677625 A1, 15.09.1991. Заявка № 4457033 от 07.07.1988.

Климова А.В., Позолотина Л.А. 2020. Содержание свинца и кадмия в бурых водорослях Восточной Камчатки в 2019 г. / Матер. VI Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана» (Владивосток, 20–21 мая 2020 г.). Владивосток: Дальрыбвтуз. С. 75–79.

Клочкова Н.Г., Климова А.В., Очеретяна С.О., Кусиди А.Э., Касперович Е.В. 2016. Воздействие антропогенного загрязнения на состояние макробентоса в бухте Раковая (Авачинская губа, Юго-Восточная Камчатка) // Вестник КамчатГТУ. Вып. 35. С. 53–64.

Коженкова С.И., Чернова Е.Н. 2018. Способ определения степени загрязнения морских прибрежных вод тяжелыми металлами с использованием макроводорослей. Патент на изобретение RU 2655441 C1, 28.05.2018. Заявка № 2017121933 от 21.06.2017.

Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В., Устименко Е.А., Сергеенко Н.В., Виноградова Д.С., Свириденко В.Д., Походина М.А., Щеголькова В.А., Максименков В.В., Полякова А.А., Галямов Р.С., Горин С.Л., Коваль М.В. 2014. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 34. С. 5–21.

Лукашев Д.В. 2007. Методы расчета фоновых концентраций тяжелых металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков для оценки загрязнения р. Днепр // Биология внутренних вод. № 4. С. 97–106.

Облучинская Е.Д., Алешина Е.Г., Матишов Д.Г. 2013. Сравнительная оценка загрязнения металлами губ и заливов Мурмана по индексу MPI (Metal Pollution Index) // Доклады Академии наук. Т. 448, № 5. С. 588–591.

Позолотина Л.А., Климова А.В., Клочкова Н.Г. 2020. Содержание Zn, Pb и Cd у бурой водоросли *Fucus distichus* subsp. *evanescence* в Авачинской губе (Юго-Восточная Камчатка) / Матер. XI Нац. (Всерос.) науч.-практ. конф. «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование» (Петропавловск-Камчатский, 24–26 марта 2020 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 143–146.

Христофорова Н.К. 1989. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука. 192 с.

Чернова Е.Н., Коженкова С.И. 2016. Определение пороговых концентраций металлов в водорослях-индикаторах прибрежных вод северо-западной части Японского моря // Океанология. Т. 56, № 3. С. 393–402.

Чернова Е.Н., Шулькин В.М. 2019. Концентрация металлов в воде и в водорослях: биоаккумуляционный фактор // Биология моря. Т. 45, № 3. С. 177–187.

Bryan G.W., Hummerstone L.G. 1973. Brown seaweeds as an indicator of heavy metals in estuaries in South-West England // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. Vol. 53. P. 705–720.

Teodorovic I., Djukic N., Maletin S., Miljanovic B., Jugovac N. 2000. Metal pollution index: Proposal for freshwater monitoring based on trace metal accumulation in fish // Tiscia. № 32. P. 55–60.

Usero J., Gonzales-Regalado E., Gracia I. 1996. Trace metals in the bivalve mollusc *Chamelea gallina* from the Atlantic Coast of Southern Spain // Marine Pollution Bulletin. Vol. 32, № 3. P. 291–298.

Usero J., Gonzales-Regalado E., Gracia I. 1997. Trace metals in the bivalve molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic Coast of Southern Spain // Environ. Int. Vol. 23, № 3. P. 291–298.

УДК 551.468(268.4)

ДИНАМИКА УСЛОВИЙ СРЕДЫ В МОРЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Евгений Валериевич Сентябов, Александр Георгиевич Трофимов
Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), Мурманск, Россия, sentyab@pinro.ru, trofimov@pinro.ru

Аннотация. В работе проанализированы изменения среднегодовых значений температуры воздуха и поверхностного слоя моря, ледовитости, теплосодержания водных масс и штормовой активности в Баренцевом, Норвежском и Карском морях за последний 40-летний период. Показано, что с начала 1980-х гг. в Северном бассейне на фоне повышающейся штормовой активности наблюдается тренд на увеличение температуры воздушных и водных масс и уменьшение площади льда, что наиболее отчетливо прослеживается с начала XXI в. При этом изменения как теплового состояния воды и воздуха, так и штормовой активности носят циклический характер. Отмечено, что с 2016 г. на акватории Баренцева и Норвежского морей наблюдается тенденция на похолодание воздушных и водных масс и увеличение ледовитости.

Ключевые слова: Баренцево море, Норвежское море, Карское море, изменения климата, температура воздуха, температура поверхностного слоя моря, штормовая активность, ледовитость, водные массы

DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN THE NORTHERN EUROPE SEAS IN THE AGE OF GLOBAL CLIMATE CHANGES

Evgeniy V. Sentyabov, Alexander G. Trofimov
Polar Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (PINRO), Russia, sentyab@pinro.ru, trofimov@pinro.ru

Abstract. In the paper, changes in annual mean air and sea surface temperatures, ice coverage, heat content of water masses and storm activity in the Barents, Norwegian and Kara Seas are analyzed over the last 40-year period. It was shown, that since the beginning of the 1980s, on the background of increasing storm activity, there has been an increasing trend in air and water temperatures and a decreasing trend in ice coverage in the Northern Basin. That has been most clearly traced since the beginning of the XXI century. At the same time, changes in water and air temperatures as well as in storm activity has a cyclical character. It was noted, that since 2016, in the Barents and Norwegian Seas, there has been a cooling tendency in air and water temperatures and an increasing one in ice coverage.

Keywords: Barents Sea, Norwegian Sea, Kara Sea, climate changes, air temperature, sea surface temperature, storm activity, ice coverage, water masses

В последние десятилетия в Арктике, и в частности в морях Европейского Севера, включающих Норвежское и Баренцево, наблюдается потепление климата (Ingvaldsen et al., 2003; Polyakov et al., 2005; Boitsov et al., 2012; Карсаков и др., 2016; Трофимов и др., 2018; González-Pola et al., 2020), что оказывает значительное влияние на водные биологические ресурсы (Dalpadado et al., 2014; Eriksen et al., 2015, 2017), поскольку условия среды играют важную роль в жизни гидробионтов, оказывая влияние на условия их нагула, зимовки, нереста, сезонных миграций и, в результате, на урожайность поколений и промысловые запасы (Jakobsen, Ozhigin, 2011; Johannesen et al., 2012; Ingvaldsen, Gjøsæter, 2013).

Принимая во внимание современные глобальные изменения климата, важность морей Европейского Севера для рыбохозяйственной отрасли, и учитывая ключевую роль условий окружающей среды в функционировании морских экосистем, представляется очевидной важность мониторинга и всестороннего изучения океанографических условий этих морей, что будет способствовать более полному пониманию процессов, происходящих в соответствующих экосистемах, и прогнозированию возможных сценариев их развития.

Цель этой работы — охарактеризовать особенности изменений условий среды в морях Европейского Севера на протяжении последних 40 лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе исследована межгодовая изменчивость гидрометеорологических параметров в морях Европейского Севера, включая Норвежское и Баренцево, за 40-летний период (1981–2020 гг.). В качестве сравнения также приведена изменчивость некоторых климатических параметров в Карском море.

Для характеристики условий среды и оценки их изменений использовались:

- индекс Атлантического мультидекадного колебания (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO) (NOAA, 2021a);
- теплозапас вод Норвежского моря в слое 0–800 м (ICES, 2021);
- штормовая активность (количество дней с ветром более 15 м/с в целом за год — данные ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») в южной части Норвежского, западной и восточной частях Баренцева морей;
- среднегодовая температура воздуха (NOAA, 2021b) и поверхностного слоя моря (ТПСМ) (IRIDL, 2021) в Баренцевом, Норвежском и Карском морях (для Карского моря использовались средние за июнь–ноябрь значения ТПСМ, исключая декабрь–май — период полного покрытия моря льдом (Сентябов, 2008));
- среднегодовая ледовитость Баренцева моря (данные ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»), Карского моря и Арктики (NSIDC, 2021);
- среднегодовая температура атлантических вод (в слое 0–200 м) на разрезе «Кольский меридиан» (70°30′–72°30′ с. ш., 33°30′ в. д.) (ICES, 2021);
- площади, занятые в августе–октябре водами с разной температурой в слое 50–100 м и у дна (расчеты выполнены на основе данных по температуре, взятых из океанографической базы данных Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО»);
- климатический индекс (CI) Баренцева моря, рассчитанный как сумма нормированных аномалий температуры воздуха, воды и площади акватории, свободной ото льда (Трофимов и др., 2018).

Для расчета аномалий использовались среднемноголетние значения за принятый во Всемирной метеорологической организации (WMO, 2014) 30-летний период (1981–2010 гг.), нормирование аномалий выполнялось с помощью стандартного отклонения, рассчитанного за тот же период.

В работе использовались сравнительный анализ данных, методы описательной статистики и корреляционный анализ (Елисеева, Юзбашев, 2004). Статистическая обработка данных и построение графиков выполнялись в программе Microsoft Excel 2016 (надстройка «Анализ данных»).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В последние десятилетия в Северном бассейне, и в особенности в Баренцевом и Норвежском морях, на фоне повышающейся штормовой активности отмечается существенный рост температуры воздушных и водных масс, сокращение площади льдов. Устойчивый теплый период в морях Европейского Севера наблюдается с начала XXI в. Представленные на рисунке 1 изменения индекса AMO, отражающего тепловое состояние поверхностного слоя воды Северной Атлантики, который рассчитывается путем весового осреднения среднемесячных аномалий температуры в 5-градусных трапециях для района от экватора до 70° с. ш., указывают на высокое теплосодержание поверхностных вод с конца 1990-х гг. Тогда как положительные аномалии теплозапаса Норвежского моря отмечаются стабильно, начиная с 2001 г.

Согласно климатическому индексу (рис. 1), с 2005 г. условия в Баренцевом море были самыми теплыми за рассматриваемый период, а 2016 г. в целом

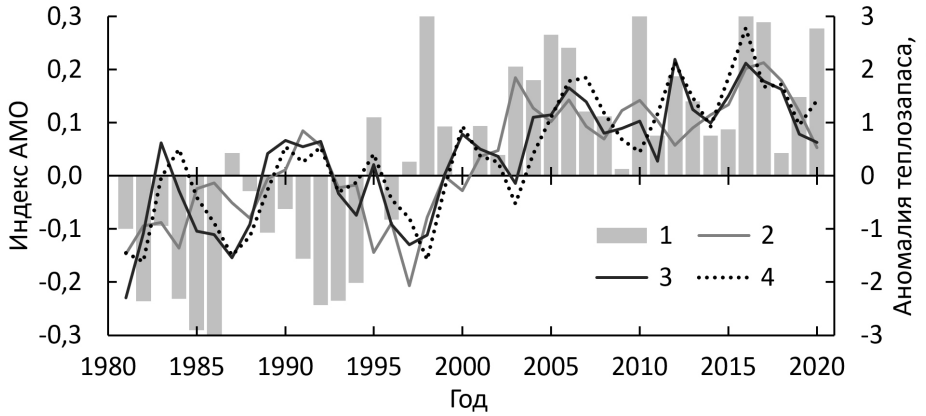

Рис. 1. Индекс Атлантического мультидекадного колебания (AMO, 1), нормированные аномалии теплозапаса вод Норвежского моря (2) и температуры атлантических вод (0–200 м) на разрезе «Кольский меридиан» (Tw, 3), а также климатический индекс (CI, 4) Баренцева моря в 1981–2020 гг.
Fig. 1. Index of Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO, 1), normalized Ocean heat content anomalies in the Norwegian Sea (2) and temperatures of Atlantic waters (0–200 m) in the profile “Kola meridian” (Tw, 3), and Climatic Index (CI, 4) of the Barents Sea in 1981–2020

по морю характеризовался как рекордно теплый с 1965 г. Среднегодовая температура атлантических вод на вековом разрезе «Кольский меридиан» с 2004 г. находилась на уровне теплых и аномально теплых лет, и лишь в 2011 г. она понизилась до уровня нормальных лет, но уже в 2012 г. достигла рекордно высокого значения с 1900 г. (5,36 °С при норме 4,22 °С), второй по величине максимум был отмечен в 2016 г. (5,32 °С). Однако с 2016 г. и до настоящего времени в изменениях всех указанных параметров (кроме индекса АМО) наблюдается тенденция на понижение (рис. 1).

В 1981–2020 гг. в рассматриваемых районах в изменениях температуры воздуха и ТПСМ наблюдались отчетливые положительные тренды (рис. 2). С 2004 г. в Баренцевом море отмечаются высокие температуры, которые достигли в 2016 г. абсолютного максимума за весь доступный ряд наблюдений. Среднегодовая температура воздуха составила 3,3 °С при норме 1,2 °С на западе моря и 1,1 °С при норме минус 2,6 °С на востоке, а среднегодовая ТПСМ достигла 6,6 °С при норме 5,1 °С на западе моря и 4,8 °С при норме 2,6 °С на востоке. В Норвежском море температурный максимум наступил на два года раньше, чем в Баренцевом море, в 2014 г., когда среднегодовая температура воздуха превысила 7,4 °С при норме 6,0 °С, а ТПСМ — 9,3 °С при норме 8,6 °С. В юго-западной части Карского моря наибольшие значения температуры воздуха и ТПСМ отмечались в 2012, 2016 и 2020 гг.: среднегодовая температура воздуха составляла около 2,0 °С при норме минус 6,9 °С, а ТПСМ (средняя за малоледный период – июнь–ноябрь) — 4,5 °С при норме 2,2 °С.

Однако на фоне общего тренда на потепление в XXI в. в изменениях температуры воздуха и ТПСМ прослеживаются короткопериодные циклы с повторением локальных максимумов и минимумов температуры. Так, в Баренцевом и Норвежском морях, как в температуре воздуха, так и в ТПСМ, для локальных минимумов отмечается квазидесятилетняя цикличность, а для локальных максимумов — квазишестилетняя. Для юго-западной части Карского моря, как для температуры воздуха, так и для ТПСМ, характерны квазичетырехлетние циклы появления локальных минимумов и максимумов. Поскольку для разных районов появления локальных максимумов происходили асинхронно, то на графике, где представлены все рассматриваемые районы (рис. 2), наибольшие значения аномалий «размазаны» во времени.

Следует также отметить, что в последние два десятилетия XX в. преобладали отрицательные аномалии как температуры воздуха, так и ТПСМ, приходящиеся в основном на середину 1980-х и середину 1990-х гг. При этом периодичность в появлении локальных максимумов и минимумов не прослеживалась.

На протяжении 1981–2020 гг. ледовитость Арктики, в том числе Баренцева и Карского морей, в целом неуклонно сокращалась (рис. 3). В Баренцевом море наименьшая среднегодовая площадь льда наблюдалась в 2006, 2007, 2012 и 2016 гг., а в Карском море — в 2012, 2016 и 2020 гг. (в те же годы, когда в его юго-западной части отмечались максимальные значения температуры воздуха и ТПСМ). За последние 30 лет льда в Баренцевом море стало вдвое меньше.

С начала XXI в. в среднегодовых значениях ледовитости как Баренцева моря, так и Арктики в целом тоже отмечается квазишестилетняя повторяемость локальных максимумов и минимумов на фоне общего тренда на уменьшение ледовитости (рис. 3). При

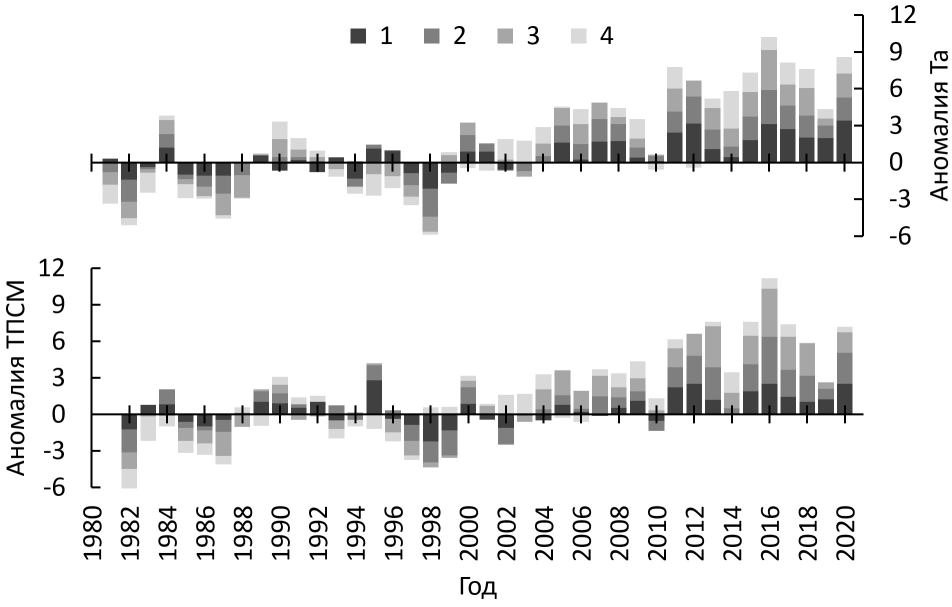

Рис. 2. Нормированные аномалии температуры воздуха (Ta) и поверхностного слоя моря (ТПСМ) в юго-западной части Карского моря (1), восточной (2) и западной (3) частях Баренцева моря и южной части Норвежского моря (4) в 1981–2020 гг.
Fig. 2. Normalized air temperature (Ta) and Sea Surface Temperature (SST) anomalies in the southwestern part of the Kara Sea (1), Eastern (2) and Western (3) Barents Sea and southern part of Norwegian Sea (4) in 1981–2020

этом в последние два десятилетия XX в. в наступлении локальных максимумов также отмечалась шестилетняя цикличность, тогда как локальные минимумы, как и для температуры воздуха и ТПСМ, возникали без циклических повторений. В Карском море отчетливая четырехлетняя повторяемость появления локальных минимумов и максимумов ледовитости отмечается с начала 2010-х гг. Ранее, на протяжении предшествующих 30 лет, подобной периодичности с явно выделяемыми циклами не наблюдалось (рис. 3).

Штормовая активность в рассматриваемых районах в последние два десятилетия XX в. характеризовалась большими различиями амплитуд межгодовых изменений количества штормовых дней, достигавших в Норвежском море 112, а на востоке и западе Баренцева моря — всего 38–62 (рис. 4). С начала XXI в. амплитуды межгодовых изменений количества штормовых дней примерно выровнялись, составив 80–95 дней, а сама штормовая активность, особенно с 2010 г., стала неуклонно расти. В Баренцевом море, например, наибольшее число дней с ветром скоростью 15 м/с и более (135 и более дней в году) отмечалось в 2012–2020 гг., достигнув рекордно высокого значения за весь описываемый период на западе моря в 2020 г. (181 день), а на востоке моря — в 2017 г. (174 дня), что сравнялось с уровнем штормовой активности в Норвежском море, которая обычно существенно выше, чем в Баренцевом (рис. 4).

В последние десятилетия площадь атлантических вод (>3 °C) в промежуточном слое 50–100 м в Баренцевом море увеличивалась, а площадь арктических вод (<0 °C), наоборот, уменьшалась (рис. 5). В 2016 г.

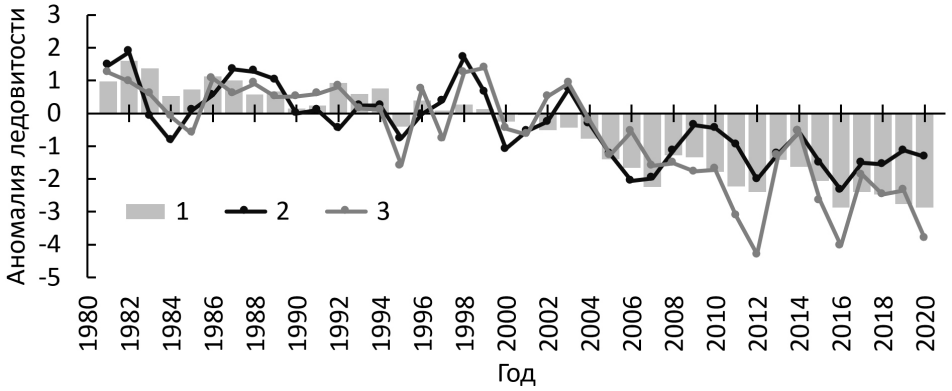

Рис. 3. Нормированные аномалии ледовитости Арктики (1), Баренцева (2) и Карского (3) морей в 1981–2020 гг.
Fig. 3. Normalized anomalies of Arctic (1), Barents (2) and Kara (3) Sea ice cover in 1981–2020

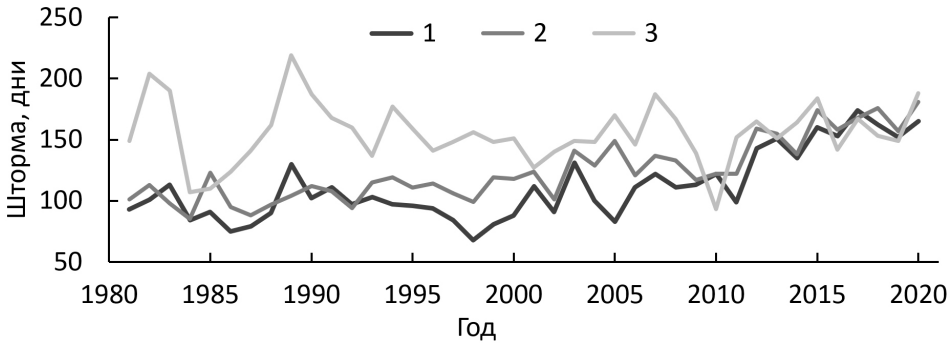

Рис. 4. Суммарное за год количество штормовых дней в восточной (1) и западной (2) частях Баренцева моря и южной части Норвежского моря (3) в 1981–2020 гг.
Fig. 4. The total number of storm days per year in the eastern (1) and western (2) parts of the Barents Sea and south-eastern part of the Norwegian Sea (3) in 1981–2020

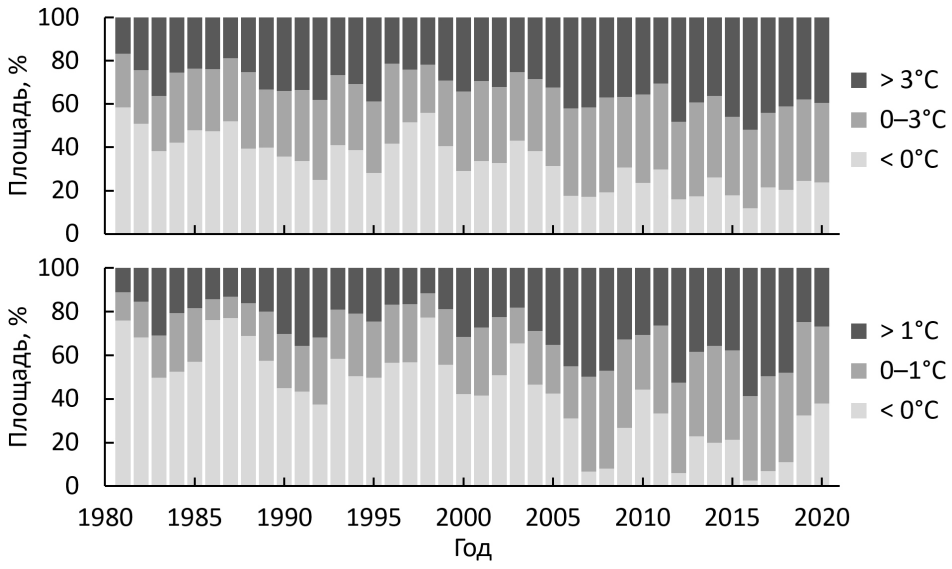

Рис. 5. Площади, занятые водами с разной температурой в слое 50–100 м (сверху) и у дна (снизу) в Баренцевом море (71–79° с. ш. 25–55° в. д.) в августе–октябре 1981–2020 гг.
Fig. 5. The squares occupied by the waters with different temperatures in the layer 50–100 m (top) and near the bottom (bottom) of the Barents Sea (71–79° N, 25–55° E) in August–October 1981–2020

атлантические и арктические воды занимали, соответственно, рекордно большую и малую площади с 1965 г. Предыдущие рекордные значения отмечались в 2012 г.

В придонном слое с начала XXI в. площадь, занятая в августе–октябре холодными водами с температурой ниже 0 °С, была наибольшей в 2003 г. (63% от расчетной области) и очень небольшой (3–11%) в 2007, 2008, 2012 и 2016–2018 гг. (рис. 5). В 2016 г. она достигла рекордно низкого (с 1965 г.) значения 3%. Площадь, занятая теплыми придонными водами (>1 °С), напротив, в 2003 г. была наименьшей (19%) с 2000 г., а в 2006–2008, 2012 и 2016–2018 гг. — достаточно большой (45–59%), с максимальным значением (59%) в 2016 г. Однако после 2016 г. вот уже на протяжении последних четырех лет наблюдается уменьшение площади теплых придонных вод и увеличение — холодных. В 2020 г. первые достигли 27%, а вторые — 38%, максимальное значение за последние 10 лет (рис. 5).

Современное потепление, как и в 30–50-е гг. прошлого века, было вызвано усилением переноса теплого атлантического воздуха из Северо-Восточной Атлантики и увеличением адвекции вод системой Гольфстрима и Северо-Атлантического течения (Ingvaldsen et al., 2003; Jakobsen, Ozhigin, 2011). В работе получены тесные положительные связи между климатическим индексом Баренцева моря с одной стороны, и индексом АМО (r = 0,67, n = 38, сдвиг 2 года) и теплозапасом Норвежского моря (r = 0,77, n = 39, сдвиг 1 год) с другой стороны, что также подтверждает адвективную природу изменчивости океанографических условий Баренцева моря.

Длительное продолжающееся потепление вод морей Европейского Севера является благоприятным для многих видов водных биологических ресурсов, большинство из которых являются тепловодными бореальными. Одним из следствий потепления вод Баренцева и Карского морей было обнаружение на акватории Карского моря летом 2007–2008 гг. таких тепловодных промысловых видов, как окунь-клювач, треска, пикша, мойва, зубатки (Долгов и др., 2011), продолживших встречаться в этом море и в последующие годы. В середине 2010-х гг., вследствие значительного потепления вод Норвежского течения и его ветвей, в Баренцевом море, западнее разреза «Кольский меридиан», научно-исследовательским судном ПИНРО было выловлено несколько экземпляров такого тепловодного вида, как скумбрия. Однако наметившаяся в конце 2010-х – начале 2020-х гг. тенденция на похолодание вод в описываемых промыслово-значимых районах не позволила теплолюбивым видам рыб продолжить свои нагульные миграции дальше на север.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С начала 1980-х гг. в морях Европейского Севера, на фоне увеличения штормовой активности, наблюдается тенденция на повышение температуры воздушных и водных масс и сокращение площади льда. Устойчивый теплый период начался с 2000 г., а наиболее теплые годы наблюдались с 2003–2005 гг. Пик потепления в Баренцевом море пришелся на 2016 г., когда были отмечены рекордно высокие значения температуры воздуха, поверхности моря и атлантических вод на разрезе «Кольский меридиан», а также рекордно низкая ледовитость моря, при этом теплые воды занимали максимальную площадь, а холодные — минимальную. В Норвежском море максимальные значения температуры воды и воздуха были зафиксированы в 2014 г., а в Карском — в 2012, 2016 и 2020 гг.

На фоне общего тренда на потепление в XXI в. в изменениях температуры воздуха и воды, а также ледовитости, прослеживаются короткопериодные циклы с повторением локальных максимумов и минимумов, а с 2016 г. по настоящее время в Баренцевом и Норвежском морях отмечается тенденция на похолодание. И от того, какая тенденция будет преобладать в ближайшие годы, зависит тот или иной характер распределения ареалов теплолюбивых видов гидробионтов в морях Европейского Севера.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Долгов А.В., Смирнов О.В., Сентябов Е.В., Древетняк К.В., Четыркина О.Ю. 2011. Новые данные по ихтиофауне Карского моря (по результатам исследований ПИНРО в 2007–2008 гг.) / Наземные и морские экосистемы. М.: Paulsen. С. 112–128.

Елисеева И.И., Юзбашев М.М. 2004. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика. 656 с.

Карсаков А.Л., Боровков В.А., Сентябов Е.В., Ившин В.А., Балякин Г.Г., Аболмасова З.В. 2016. Океанографические условия в морях Северо-Европейского бассейна и Северной Атлантики в 2014–2015 гг. и их влияние на распределение промысловых рыб // Тр. ВНИРО. Т. 164. С. 5–21.

Сентябов Е.В. 2008. Физико-географическая характеристика и гидрометеорологические условия Карского моря / Экосистема Карского моря. Мурманск: ПИНРО. С. 21–42.

Трофимов А.Г., Карсаков А.Л., Ившин В.А. 2018. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Тр. ВНИРО. Т. 173. С. 79–91.

Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. 2012. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES Journal of Marine Science. Vol. 69. № 5. P. 833–840.

Dalpadado P., Arrigo K.R., Hjøllo S.S., Rey F., Ingvaldsen R.B., Sperfeld E., van Dijken G.L., Stige L.C., Olsen A., Ottersen G. 2014. Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability // PLoS ONE. Vol. 9. № 5. Art. e95273.

Eriksen E., Ingvaldsen R.B., Nedreaas K., Prozorkevich D. 2015. The effect of recent warming on polar cod and beaked redfish juveniles in the Barents Sea // Regional Studies in Marine Science. Vol. 2. P. 105–112.

Eriksen E., Skjoldal H.R., Gjøsæter H., Primicerio R. 2017. Spatial and temporal changes in the Barents Sea pelagic compartment during the recent warming // Progress in Oceanography. Vol. 151. P. 206–226.
González-Pola C., Larsen K.M.H., Fratantoni P., Beszczynska-Möller A. (Eds.). 2020. ICES Report on Ocean Climate 2019 // ICES Cooperative Research Report. No. 350. 136 p.
ICES. 2021. ICES Report on Ocean Climate (IROC). Accessible via: http://ocean.ices.dk/iroc/. 30.09.2021.
Ingvaldsen R., Loeng H., Ottersen G., Ådlandsvik B. 2003. Climate variability in the Barents Sea during the 20th century with a focus on the 1990s // ICES Marine Science Symposia. Vol. 219. P. 160–168.
Ingvaldsen R.B., Gjøsæter H. 2013. Responses in spatial distribution of Barents Sea capelin to changes in stock size, ocean temperature and ice cover // Marine Biology Research. Vol. 9. № 9. P. 867–877.
IRIDL. 2021. SST fields from NOAA NCEP EMC CMB GLOBAL Reyn_SmithOIv2 monthly. Climate Modeling Branch, National Centers for Environmental Prediction, National Oceanic and Atmospheric Administration. Accessible via: http://iridl.ldeo.columbia.edu. 30.09.2021.
Jakobsen T., Ozhigin V.K. (Eds.). 2011. The Barents Sea: ecosystem, resources, management. Half a century of Russian-Norwegian cooperation. Trondheim: Tapir Academic Press. 825 p.
Johannesen E., Ingvaldsen R.B., Bogstad B., Dalpadado P., Eriksen E., Gjøsæter H., Knutsen T., Skern-Mauritzen M., Stiansen J.E. 2012. Changes in Barents Sea ecosystem state, 1970–2009: climate fluctuations, human impact, and trophic interactions // ICES Journal of Marine Science. Vol. 69. № 5. P. 880–889.
NOAA. 2021a. AMO (Atlantic Multidecadal Oscillation) Index. Physical Sciences Laboratory, NOAA. Accessible via: https://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/. 30.09.2021.
NOAA. 2021b. Monthly mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset. Climate Prediction Center, National Weather Service, NOAA. Accessible via: http://nomad2.ncep.noaa.gov. 30.09.2021.
NSIDC. 2021. Sea Ice Index. Arctic- and Antarctic-wide changes in sea ice. Accessible via: http://nsidc.org/data/seaice_index/. 30.09.2021.
Polyakov I.V., Beszczynska A., Carmack E.C., Dmitrenko I.A., Fahrbach E., Frohlov I.E., Gerdes R., Hansen E., Holfort J., Ivanov V.V., Johnson M.A., Karcher M., Kauker F., Morison J., Orvik K.A., Schauer U., Simmons H.L., Skagseth O., Sokolov V.T., Steele M., Timokhov L.A., Walsh D., Walsh J.E. 2005. One more step toward a warmer Arctic // Geophysical Research Letters. Vol. 32. № 17. Art. LI7605.
WMO. 2014. Commission for Climatology – Sixteenth session: Abridged final report with resolutions and recommendations. World Meteorological Organization. WMO-№ 1137. 68 p.

УДК 571.27+57.044

ГУМИНОВАЯ КИСЛОТА СПОСОБНА ВЫЗЫВАТЬ ОТРИЦАТЕЛЬНУЮ РЕГУЛЯЦИЮ СИСТЕМЫ КОМПЛЕМЕНТА РЫБ

Виктория Викторовна Юрченко, Алексей Александрович Морозов

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук, Ярославская обл., пос. Борок, Россия, victoria.yurchenko@rambler.ru, aleksey.a.morozov@gmail.com

Аннотация. Гуминовые кислоты, один из главных компонентов растворенного органического вещества водных экосистем, способны влиять на различные метаболические пути гидробионтов. Данное исследование направлено на изучение изменений протеома плазмы крови рыб в результате краткосрочного воздействия экологически значимых концентраций гуминовой кислоты на примере японской медаки *Oryzias latipes*. Рыб содержали 96 часов в растворах гуминовой кислоты Sigma-Aldrich с номинальными концентрациями 0, 5, 40 и 80 мг/л. Фактическое содержание гуминовой кислоты измеряли методом бихроматной окисляемости и выражали в виде концентрации органического углерода. Протеомный анализ плазмы крови медаки проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Относительное обилие белков определяли с использованием подхода безметковой количественной оценки (LFQ). Согласно полученным результатам гуминовая кислота вызывала угнетение системы комплемента. Наиболее выраженный эффект наблюдался при наибольшей концентрации гуминовой кислоты в воде.

Ключевые слова: протеом, плазма крови, врожденный иммунитет, гуморальная защита, костистые рыбы

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-76-00030). Авторы благодарят Р.А. Федорова и Д.А. Филиппова (ИБВВ РАН) за помощь при отборе проб, В.Г. Згоду и О.В. Тихонову (ЦКП «Протеом человека», ИБМХ) — за проведение масс-спектрометрического анализа белков, Л.Г. Бакину (СПб ФИЦ РАН) — за измерение концентрации гуминовой кислоты в воде.

HUMIC ACID CAN CAUSE DOWN-REGULATION OF COMPLEMENT SYSTEM PROTEINS IN FISH

Victoria V. Yurchenko, Alexey A. Morozov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Yarolslavl Region, Borok, Russia, victoria.yurchenko@rambler.ru, aleksey.a.morozov@gmail.com

Abstract. Humic acids, one of the major components of natural organic matter in aquatic ecosystems, can interfere with various metabolic pathways in aquatic organisms. This study aimed to reveal blood plasma proteome changes in Japanese medaka *Oryzias latipes* due to short-term exposure to environmentally relevant humic acid concentrations. Fish were kept in Sigma-Aldrich humic acid solutions (0, 5, 40, and 80 mg/L, nominal) for 96 hours. The actual humic acid concentrations in water were determined using the potassium dichromate photometric method and expressed as organic carbon concentrations. Liquid chromatography with tandem mass spectrometry was used for proteome analysis of medaka blood plasma samples. Protein relative abundance was determined using the label-free quantification (LFQ) approach. According to the results obtained, humic acid suppressed the complement system in medaka; the most pronounced effect was observed at the highest tested humic acid concentration.

Keywords: proteome, blood plasma, innate immunity, humoral defense, teleosts

Acknowledgments: the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 20-76-00030). The authors thank R.A. Fedorov and D.A. Filippov (IBIW RAS) for assistance in sampling, V.G. Zgoda and O.V. Tikhonova (“Human proteome” Core Facility, IBMCh) for carrying out the mass spectrometric analysis of the proteins, L.G. Bakin (St. Petersburg FRC RAS) for measuring the humic acid concentration in the water.

Гуминовые кислоты (ГК) — одна из основных фракций растворенного органического вещества водных экосистем. Они представляют собой сложные соединения, содержащие различные функциональные группы (de Melo et al., 2016), что делает их реакционноспособными в водной среде. Концентрации гумусовых

веществ (ГК и фульвокислот), выраженные через содержание общего органического углерода, колеблются в диапазоне от 2 мгС/л в олиготрофных озерах (Thurman, 1985) до 14 мгС/л в реках и эвтрофных озерах (Thurman, 1985; Wiegand et al., 2007; Rodríguez, Núñez, 2011; Levshina, 2016).

К настоящему времени не вызывает сомнений, что гумусовые вещества являются движущим экологическим фактором в пресноводных экосистемах (см. обзор Steinberg et al., 2006). Опубликован ряд исследований, характеризующих воздействие гумусовых веществ на водных животных, включая такие эффекты, как экспрессия белков теплового шока, модуляция активности ферментов биотрансформации и развитие симптомов окислительного стресса, а также гормоноподобных эффектов (см. обзоры Steinberg et al., 2003, 2008). Таким образом, гумусовые вещества могут влиять на различные пути метаболизма пресноводных организмов. Для сбора данных и понимания молекулярных механизмов стресс-реакций животных многообещающим инструментом является протеомный подход (Ahmed et al., 2019; Hoem, Tveten, 2020).

Целью данного исследования было изучение изменений протеома плазмы крови рыб, происходящих в результате краткосрочного воздействия экологически значимых концентраций ГК. В качестве модельного объекта была выбрана японская медака *Oryzias latipes* (Temminck&Schlegel 1846) — пресноводная рыба, демонстрирующая половой диморфизм. Геном медаки полностью секвенирован (Kasahara et al., 2007), ее протеом представлен в базе данных UniProt (Proteomes, 2021).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Медаку линии Hd-rR содержали при температуре 25 ± 1 °C и фотопериоде 16/8 ч. Условия содержания рыб и экспериментальная процедура подробно описаны ранее (Yurchenko et al., 2022). Эксперимент проводили согласно международным методическим указаниям (OECD, 2019). В качестве действующего вещества был использован коммерческий препарат ГК (CAS 1415-93-6, производитель Sigma-Aldrich). Краткая схема эксперимента: длительность воздействия — 96 ч, полустатичные условия содержания рыб (смена 50% объема воды ежедневно), номинальные концентрации ГК: 0, 5, 40 и 80 мг/л. Для контроля количества ГК, растворенной в воде, измеряли количество органического углерода методом бихроматной окисляемости. Отбор проб воды проводили дважды в течение периода воздействия (OECD, 2019): в 0 ч (перед распределением рыбы по опытным аквариумам) и через 78 ч (6 ч после третьего обновления растворов); анализировали в двух повторностях (табл. 1). Растворенный кислород и pH среды измеряли ежедневно в двух повторностях (табл. 1).

По окончании 96 ч воздействия проводили отбор проб плазмы крови рыб. Из каждой группы (одной контрольной и трех опытных) использовали по 4 самца и 4 самки медаки. Для этого после анестезии (трикаин метансульфонат, 100 мг/л) каждую рыбу взвешивали (табл. 1). Кровь брали из хвостовой вены/артерии. Каждый образец крови помещали в центрифужную пробирку, содержащую гепаринизированный физиологический раствор (конечная концентрация гепарина 5 мг/мл), помещали на холод. Пробы крови центрифугировали в режиме 1500 g, 4 °C, 10 мин. Затем аликвоты плазмы крови рыб из одной группы объединяли в одну суммарную пробу плазмы, замораживали в жидком азоте и хранили в нем до проведения протеомного анализа.

Объединение проб скрывает различия между индивидуальными протеомами. Процесс объединения усредняет распределение белков; некоторые белки могут находиться ниже предела обнаружения, если они не экспрессированы у одной или нескольких особей из группы, что может приводить к потере некоторой информации (Zolg, 2006). Однако поскольку показано, что для большинства белков экспрессия белка в суммарной пробе соответствует средней экспрессии в отдельных образцах, составляющих пул, объединение может помочь преодолеть ограничения ресурсов и быть потенциально ценной процедурой в протеомике (Diz et al., 2009). Поскольку объединение позволяет легко обнаружить основные различия и сходства между группами (Morro et al., 2020), мы сочли этот подход приемлемым для исследования.

Протеомный анализ подробно описан ранее (Yurchenko et al., 2022). Вкратце: для расщепления белка трипсином использовали процедуру STrap

Таблица 1. Масса рыб, концентрация органического углерода ($C_{орг}$), растворенного кислорода и pH среды
Table 1. Fish weight, concentration of organic carbon (Corg) and dissolved oxygen and pH of the water

Группа	Масса рыб, г	ГК, мг/л, номинальная	$C_{орг}$, мгС/л, 0 ч	$C_{орг}$, мгС/л, 78 ч	pH	O_2, мг/л
Контроль	0,49 ± 0,08	0	< ПО	< ПО	8,14 ± 0,16	6,6 ± 0,3
Опыт 1	0,50 ± 0,07	5	< ПО	< ПО	7,98 ± 0,43	6,6 ± 0,3
Опыт 2	0,50 ± 0,11	40	4,5	6,6	8,10 ± 0,24	6,6 ± 0,2
Опыт 3	0,50 ± 0,05	80	9,4	9,4	8,16 ± 0,22	6,7 ± 0,2

Примечание. Данные представлены в виде среднего арифметического ± среднеквадратическое отклонение, $C_{орг}$ — в виде среднего арифметического. ПО — предел обнаружения.

(Zougman et al., 2014); полученные пептиды анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Масс-спектрометрические данные обрабатывали с помощью программы MaxQuant (версия 1.6.3.4) со встроенной поисковой системой пептидов Andromeda. Относительное обилие белков определяли с использованием подхода безметковой количественной оценки (англ. *label-free quantification*, LFQ). Каждую пробу плазмы анализировали в трех повторностях.

Белки рассматривались в качестве достоверно идентифицированных, если для них было обнаружено по крайней мере два пептида. Дальнейшую обработку первичных данных проводили согласно рекомендациям Aguilan et al. (2020) в программе Microsoft Excel. Вкратце: значения интенсивности LFQ были преобразованы в $\log_2$ и нормализованы по медиане и уклону, затем относительное соотношение белков между каждой опытной группой и контролем рассчитывали по показателю кратности изменения (англ. *fold change*, FC), а значимость изменений определяли по *p*-значениям, полученным для t-теста. Для построения диаграмм, отражающих изменение относительного обилия белков в опытных группах, *p*-значения приводили к виду $-\log_2(p)$. При этом статистическая значимость определялась порогом $-\log_2(p) > 4{,}32$ и кратностью изменения больше 2, т. е. $\log_2(\mathrm{FC}) > 1$. Анализ функций идентифицированных белков проводили с помощью баз данных PANTHER 16.0, UniProtKB и InterPro 87.0. Сравнение списков белков со статистически значимыми отличиями в относительном обилии (дисрегулированных белков) проводили с помощью Интернет-ресурса Venny 2.1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В общей сложности 153 белка (группы белков) соответствовали требованиям достоверной идентификации и были использованы для дальнейшего анализа. На рисунке 1 представлены изменения относительного обилия (дисрегуляции) белков в опытных группах. Наибольшее количество дисрегулированных белков (124) наблюдалось в группе 3, в то время как в группах 1 и 2 количество было намного меньше (77 и 70 соответственно). Большинство дисрегулированных белков характеризовались отрицательной регуляцией в ответ на действие ГК.

Анализ функций идентифицированных белков показал, что 20 идентифицированных белков участвуют в иммунном ответе. Среди них 19 белков системы комплемента и белок H2L5B8, принадлежащий к подсемейству 2 эктонуклеотидпирофосфатазы/фосфодиэстеразы (E-NPP 2) (PANTHER, 2022), также известного под названием аутотаксин. Образцы плазмы крови из опытных групп 1 и 2 содержали по 10 дисрегулированных белков, а в группе 3 статистически значимой степенью отрицательной регуляции характеризовались 17 белков. Значения кратности изменения относительного обилия белков ($\log_2$ (FC)) представлены в таблице 2.

Аутотаксин представляет собой секретируемый гликопротеин, который катализирует гидролиз лизофосфатидилхолина до лизофосфатидной кислоты, которая участвует во многих процессах, включая иммунную регуляцию (Magkrioti et al., 2019). Выявленные белки, содержащие иммуноглобулин-подобный домен, отвечают за связывание антигенов и рецепторов иммунных клеток и участвуют в нескольких биологических процессах, включая классический путь актива-

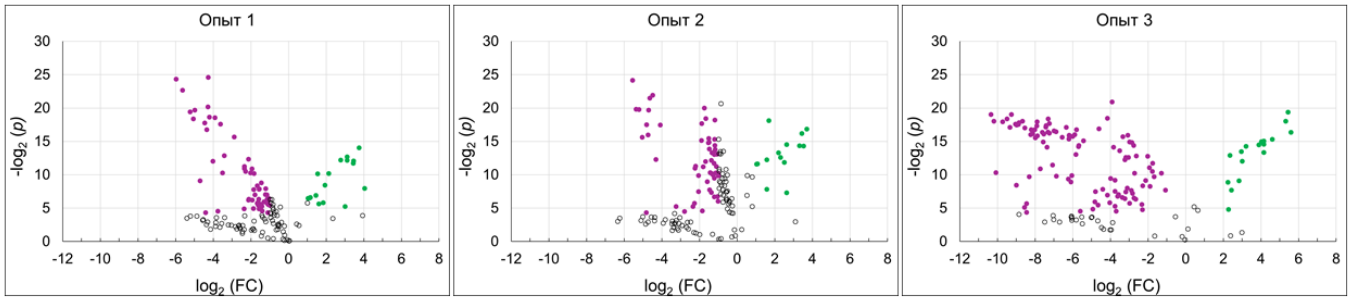

Рис. 1. Изменения относительного обилия белков плазмы крови медаки *Oryzias latipes* под влиянием ГК в группах: опыт 1 (номинальная концентрация 5 мг/л), опыт 2 (40 мг/л) и опыт 3 (80 мг/л). $\mathrm{Log}_2(\mathrm{FC})$ — логарифмированные величины кратности изменения относительного обилия белков в опытной группе по сравнению с контролем; $-\log_2(p)$ — отрицательный логарифм *p*-величины, полученной для t-теста. Малиновым цветом отмечены белки, характеризующиеся отрицательной регуляцией, зеленым — положительной; бесцветные точки обозначают белки, кратность изменения которых изменялась незначительно относительного обилия ($-1 < \log_2(\mathrm{FC}) < 1$) или не имела статистической значимости ($-\log_2(p) < 4{,}32$)

Fig. 1. Changes in the relative abundance of blood plasma proteins of *Oryzias latipes* under the influence of HA in the groups of experiment 1 (nominal concentration 5 mg/l), experiment 2 (40 mg/l) and experiment 3 (80 mg/l). $\mathrm{Log}_2(\mathrm{FC})$ – logarithmic values of the multiplicity of changes in the relative abundance of proteins in the experimental group compared with the control; $-\log_2(p)$ – negative logarithm of the *p*-value obtained for the t-test. The proteins characterized by negative regulation are in crimson, by positive – in green, colorless dots indicate proteins, the fold change of which changed insignificantly relative to abundance ($-1 < \log_2(\mathrm{FC}) < 1$) or had no statistical significance ($-\log_2(p) < 4.32$)

ции системы комплемента и положительную регуляцию активации В-клеток (UniProtKB, 2022). Изменение относительного обилия этих белков не было статистически значимым, тогда как остальные идентифицированные белки гуморального звена иммунитета медаки демонстрировали сильную отрицательную регуляцию при наибольшей концентрации ГК.

Система комплемента, один из гуморальных компонентов врожденного иммунитета, представляет собой комплекс циркулирующих белков, которые действуют совместно, реализуя защитные механизмы, включая устранение патогенов посредством опсонизации и фагоцитоза и стимуляции воспаления (Smith et al., 2019). Белки C1q и C1r являются компонентами комплекса C1, активация которого инициирует классический путь системы комплемента (Carland, Gerwick, 2010). Белок, содержащий С-концевой домен фибриногена, обеспечивает связывание антигенов и участвует в лектиновом пути системы комплемента (UniProtKB, 2022). Идентифицированные белки, принадлежащие к подсемействам C4B, C3, белков, содержащих NTR-домен, а также белок, содержащий анафилатоксин-подобный домен, фактор B/C2 и белок, содержащий домен пептидазы S1, участвуют в активации следующих стадий каскада комплемента (InterPro, 2022; PANTHER, 2022; UniProtKB, 2022). Компоненты комплемента C6, C7, C8α, C8β и C9 являются белками терминального пути, компонентами мембраноатакующего комплекса (Barnum, Schein, 2018).

Считается, что у рыб врожденный иммунитет играет более существенную роль в защите от вторжения патогенов, чем адаптивная иммунная система (приобретенный иммунитет) (Natnan et al., 2021). Поэтому изменения в системе комплемента, одном из ключевых компонентов врожденного иммунитета, могут серьезно влиять на здоровье рыб. Несмотря на то, что четкой зависимости дисрегуляции белков от концентрации ГК не наблюдалось, относительное обилие большинства белков, участвующих в иммунном ответе, было значительно снижено при наибольшей концентрации ГК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ГК может влиять на систему комплемента, при подавлении которой защита рыб от патогенов будет значительно ослаблена. Дальнейшее угнетение иммунитета может привести к снижению энергетических запасов, подавлению защитных систем, нарушению поведения и размножения и, в конечном итоге, к гибели рыб (Jerez-Cepa, Ruiz-Jarabo, 2021). Дальнейшие исследования краткосрочного и долгосрочного воздействия ГК на различные аспекты физиологии рыб важны для лучшего понимания ограничений, накладываемых средой обитания на их организм.

Таблица 2. Кратность изменения относительного обилия белков ($\log_2$ (FC)) и статистическая значимость изменений ($-\log_2(p)$)
Table 2. The fold change in the relative abundance of proteins ($\log_2$ (FC)) and statistical significance of the changes ($-\log_2(p)$)

Идентификатор UniProtKB	Название	Опыт 1		Опыт 2		Опыт 3	
		$\log_2$ (FC)	$-\log_2(p)$	$\log_2$ (FC)	$-\log_2(p)$	$\log_2$ (FC)	$-\log_2(p)$
A0A3B3I680	Белок, содержащий иммуноглобулин-подобный домен	**–5,64**	22,70	–4,58	3,71	–3,89	2,87
A0A3B3IC32	Белок, содержащий иммуноглобулин-подобный домен	–2,75	1,91	–0,76	7,82	–6,06	3,23
H2MS54	Белок, содержащий домен C1q	**–5,99**	24,38	–2,00	1,09	**–7,74**	10,92
H2MAB2	Субкомпонент C1r	–2,58	1,99	–2,60	1,89	**–7,55**	16,15
H2M0B3	Белок, содержащий С-концевой домен фибриногена	–0,45	5,20	–0,84	8,46	**–8,04**	16,77
H2LRL9	C4B	**–2,03**	10,31	**–1,34**	13,31	**–3,71**	4,55
H2LRP2	Белок подсемейства C4B	**–2,35**	10,95	**–1,67**	18,44	**–8,57**	5,13
H2M6N3	Белок подсемейства C3	**–1,93**	6,22	–0,96	10,89	**–3,08**	15,94
H2M6U1	C3-2	**–2,14**	6,23	**–1,23**	13,05	**–4,00**	9,49
H2N0N0	Белок подсемейства белков, содержащих NTR-домен	**–2,36**	4,93	**–1,19**	14,43	**–10,20**	18,08
H2MVB4	Белок, содержащий анафилатоксин-подобный домен	–0,87	3,17	–2,20	1,30	**–8,00**	15,55
P79816	Фактор B/C2	**–1,95**	10,91	**–1,10**	11,28	**–4,95**	4,88
Q2Z1R4	Белок, содержащий домен пептидазы S1 (подсемейство фактора D)	–2,63	2,46	**–1,89**	17,72	**–4,41**	7,85
H2MIX9	C6	**–3,42**	12,88	**–2,24**	11,01	**–9,26**	19,04
H2LGZ3	C7	–3,56	2,71	**–2,80**	4,51	**–8,68**	18,07
A0A3B3HA48	Белок семейства C6/C7/C8/C9	**–1,58**	7,84	**–1,00**	9,85	**–8,46**	5,70
H2M1L8	C8α	–1,29	3,39	–0,67	9,41	**–8,87**	17,82
H2M1Q0	C8β	–3,66	2,16	–0,87	7,14	**–9,51**	18,40
H2LCR1	C9	–0,77	4,36	–0,95	10,56	**–2,89**	7,69
H2L5B8	Белок подсемейства 2 эктонуклеотидпирофосфатазы/фосфодиэстеразы (E-NPP 2)	–1,42	3,95	**–2,36**	5,27	–6,07	3,84

Примечание. Если белок не имеет названия в базах данных UniProtKB и PANTHER, приводится название семейства/подсемейства белков, к которому он относится. Значения кратности изменения относительного обилия дисрегулированных белков выделены жирным шрифтом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Aguilan J.T., Kulej K., Sidoli S. 2020. Guide for protein fold change and: P-value calculation for non-experts in proteomics // Mol. Omics. Vol. 16. P. 573–582.

Ahmed F., Kumar G., Soliman F.M., Adly M.A., Soliman H.A., El-Matbouli M., Saleh M. 2019. Proteomics for understanding pathogenesis, immune modulation and host pathogen interactions in aquaculture // Comp. Biochem. Phys. D. Vol. 32. 100625.

Barnum S.R., Schein T.N. 2018. The complement system. In: Barnum, S.R., Schein, T.N. (Eds.), The complement factsbook, 2nd ed., Elsevier, Amsterdam. P. 7–20.

Carland T.M., Gerwick L. 2010. The C1q domain containing proteins: Where do they come from and what do they do? // Dev. Comp. Immunol. Vol. 34. P. 785–790.

De Melo B.A.G., Motta F.L., Santana M.H.A. 2016. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments // Mater. Sci. Eng. C. Vol. 62. P. 967–974.

Diz A.P., Truebano M., Skibinski D.O.F. 2009. The consequences of sample pooling in proteomics: An empirical study // Electrophoresis. Vol. 30. P. 2967–2975.

Hoem K.S., Tveten A.K. 2020. Current approaches in decoding the molecular mechanisms of long-term stress in adult farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) // Rev. Aquacult. Vol. 12. P. 1708–1720.

InterPro. Classification of protein families. 2022. URL: https://www.ebi.ac.uk/interpro/

Jerez-Cepa I., Ruiz-Jarabo I. 2021. Physiology: An important tool to assess the welfare of aquatic animals // Biology. Vol. 10. P. 61.

Kasahara M., Naruse K., Sasaki S., Nakatani Y., Qu W., Ahsan B., Yamada T., Nagayasu Y., Doi K., Kasai Y., Jindo T., Kobayashi D., Shimada A., Toyoda A., Kuroki Y., Fujiyama A., Sasaki T., Shimizu A., Asakawa S., Shimizu N., Hashimoto S., Yang J., Lee Y., Matsushima K., Sugano S., Sakaizumi M., Narita T., Ohishi K., Haga S., Ohta F., Nomoto H., Nogata K., Morishita T., Endo T., Shin I.T., Takeda H., Morishita S., Kohara Y. 2007. The medaka draft genome and in-sights into vertebrate genome evolution // Nature. Vol. 447. P. 714–719.

Levshina S. 2016. Geochemistry of organic matter in river waters of the Amur basin, Russia // Environ. Earth Sci. Vol. 75. 387.

Magkrioti C., Galaris A., Kanellopoulou P., Stylianaki E.-A., Kaffe E., Aidinis V. 2019. Autotaxin and chronic inflammatory diseases // J. Autoimmun. Vol. 104. 102327.

Morro B., Doherty M.K., Balseiro P., Handeland S.O., MacKenzie S., Sveier H., Albalat A. 2020. Plasma proteome profiling of freshwater and seawater life stages of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // PLoS ONE. Vol. 15. e0227003.

Natnan M.E., Low C.F., Chong C.M., Bunawan H., Baharum S.N. 2021. Integration of omics tools for understanding the fish immune response due to microbial challenge // Front. Mar. Sci. Vol. 8. 751.

OECD. 2019. Test No. 203: Fish, Acute Toxicity Test. In: OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing, Paris.

PANTHER. Classification system. 2022. URL: http://www.pantherdb.org/

Proteomes – Oryzias latipes (Japanese rice fish) (Japanese killifish). 2021. URL: https://www.uniprot.org/proteomes/UP000001038

Rodríguez F.J., Núñez L.A. 2011. Characterization of aquatic humic substances // Water Environ. J. Vol. 25. P. 163–170.

Smith N.C., Rise M.L., Christian S.L. 2019. A comparison of the innate and adaptive immune systems in cartilaginous fish, ray-finned fish, and lobe-finned fish // Front. Immunol. Vol. 10. 2292.

Steinberg C.E., Kamara S., Prokhotskaya V.Y., Manusadžianas L., Karasyova T.A., Timofeyev M.A., Jie Z., Paul A., Meinelt T., Farjalla V.F., Matsuo A.Y.O., Burnison B.K., Menzel R. 2006. Dissolved humic substances – ecological driving forces from the individual to the ecosystem level? // Freshwater Biol. Vol. 51. P. 1189–1210.

Steinberg C.E., Paul A., Pflugmacher S., Meinelt T., Klöcking R., Wiegand C. 2003. Pure humic substances have the potential to act as xenobiotic chemicals-A review // Fresen. Environ. Bull. Vol. 12. P. 391–401.

Steinberg C.E.W., Meinelt T., Timofeyev M.A., Bittner M., Menzel R. 2008. Humic substances // Environ. Sci. Pollut. R. Vol. 15. P. 128–135.

Thurman E.M. 1985. Amount of organic carbon in natural waters. In: Thurman E.M. (Ed.) Organic geochemistry of natural water. Springer, Dordrecht. P. 7–65.

UniProtKB. 2022. URL: https://www.uniprot.org/uniprot/

Venny 2.1. 2022. URL: https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/

Wiegand C., Pehkonen S., Akkanen J., Penttinen O.P., Kukkonen J.V. 2007. Bioaccumulation of paraquat by *Lumbriculus variegatus* in the presence of dissolved natural organic matter and impact on energy costs, biotransformation and antioxidative enzymes // Chemosphere. Vol. 66. P. 558–566.

Yurchenko V.V., Morozov A.A., Fedorov R.A., Bakina L.G., Zgoda V.G., Tikhonova O.V. 2022. Dataset on the effects of environmentally relevant humic acid concentrations on the liver protein profile in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) // Data in Brief. Vol. 40. 107796.

Zolg W. 2006. The proteomic search for diagnostic biomarkers: Lost in translation? // Mol. Cell. Proteomics. Vol. 5. P. 1720–1726.

Zougman A., Selby P.J., Banks R.E. 2014. Suspension trapping (STrap) sample preparation method for bottom-up proteomics analysis // Proteomics. Vol. 14. P. 1006–1010.

УДК 597-19(282.247.446)

СОСТОЯНИЕ ИХТИОФАУНЫ СОСТИНСКИХ ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ

Делгир Сергеевна Петрушкиева, Алексей Андреевич Бугаков, Светлана Александровна Панфилий, Андрей Михайлович Панфилий

Отдел «Элистинский» Волжско-Каспийского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КаспНИРХ), Республика Калмыкия, Элиста, Россия, elista.laboratoria@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведены анализ литературных источников, касающихся состава ихтиофауны Состинских озер за многолетний период, и результаты собственных исследований за 2018–2020 гг. Дана биологическая характеристика основных промысловых рыб. Изложены рекомендации по повышению рыбопродуктивности озер.

Ключевые слова: видовой состав ихтиофауны, промысел, гидрологический и гидрохимический режим, биологические показатели рыб

STATE OF THE ICHTHYOFAUNA OF SOSTINSKIE LAKES IN THE REPUBLIC OF KALMYKIA

Delgir S. Petrushkieva, Aleksey A. Bugakov, Svetlana A. Panfiliy, Andrey M. Panfiliy

Department "Elista" of the Volga-Caspian Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (CaspNIRKH), Republic of Kalmykia, Elista, Russia, elista.laboratoria@mail.ru

Abstract. This article provides analysis of literature sources conserning the composition of the ichthyofauna of the Sostinskie Lakes for a long-term period and the results of our own research for 2018–2020. Biological characterization of the major commercial fish species are given. Recommendations for enhancement of fish productivity of the lakes are presented.

Key words: species composition of ichthyofauna, fishing, hydrological and hydrochemical regime, biological characteristics of fish

Состинские озера — наиболее крупные естественные водоемы Прикаспийской низменности. Они располагаются на территории двух районов Республики Калмыкия: Ики-Бурульского и Черноземельского, вблизи п. Ачинеры. Озера являются устьевым окончанием реки Восточный Маныч и представляют собой ряд водоемов площадью 50–600 га, соединенных между собой русловыми протоками.

Чограйское водохранилище является главным источником водообеспечения озер. Гидрологический и гидрохимический режимы Состинских озер полностью зависят от количества воды, сбрасываемой из Чограйского водохранилища. Местный сток практического значения не имеет. В систему Состинских озер входит 17 водоемов, из них, в зависимости от водоснабжения, последние три года только семь являются рыбопромысловыми, их общая площадь находится в пределах 1210–2067 га. В остальных водоемах, в зависимости от водности года и объема поступающей воды из Чограйского водохранилища, по мере их удаления от источника водоснабжения минерализация воды значительно повышается, и они периодически пересыхают.

Отмечается значительная зарастаемость мягкой водной растительностью (рдесты стеблеобъемлющий и курчавый, уруть колосистая, роголистник погруженный), занимающей в большинстве водоемов в летние месяцы до 60–70% акватории. Также следует отметить, что по периметру водоемов, занимая в среднем 25–30% водной акватории, расположена широкой полосой прибрежно-водная растительность, состоящая главным образом из тростника обыкновенного (рис. 1).

Рис. 1. Зарастаемость надводной и погруженной растительностью
Fig. 1. Overgrowing of surface and submerged vegetation

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа выполнена на Состинских озерах. Материалом для статьи послужили результаты собственных ихтиологических исследований в 2018–2020 гг. в период проведения полевых работ и литературные данные. Ихтиологический материал отбирался из промысловых и исследовательских уловов. Определялись линейно-весовые показатели, возраст, пол, стадия зрелости половых продуктов. Для достоверной характеристики возрастного состава осуществлены массовые промеры рыб. При обработке материала использовались методические пособия (Чугунова, 1959; Правдин, 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ихтиофауна Состинских озер формировалась за счет рыб, населяющих Восточный Маныч до его зарегулирования: красноперка, верховка, золотой и серебряный караси, судак, сазан. После строительства Чограйского водохранилища и пуска его воды в Состинские озера ихтиофауна озер обогатилась за счет проникновения рыб из водохранилища, через него из других водоемов, а также акклиматизированных рыб, попавших из Чограйского водохранилища и завезенных из Чограйского рыбопитомника. Если в 1961 г. в составе ихтиофауны озер насчитывалось 6 видов, то в 1972 г. — 10, в 1977 г. — 14, в 1981 г. — 19, в 1991 г. — 23, в 2018–2020 гг. — 17 (таблица 1). В настоящее время, на основании литературных данных (Астанин, Юрьев, 1965; Позняк, 1987; Позняк, Келлерова, 1993), можно заключить, что общее число видов, отмеченных в Состинских озерах — 27. Они относятся к 9 семействам: карповых, сомовых, щуковых, окуневых,

Таблица 1. Динамика качественного состава ихтиофауны Состинских озер за многолетний период
Table 1. Long-term dynamics of the species composition of the ichthyofauna of the Sostinskie Lakes

Виды рыб	Годы исследований					
	1961	1972	1977	1981	1991	2018–2020
Килька	–	+	–	–	–	–
Щука	–	–	–	–	+	+
Плотва	–	–	–	–	+	+
Красноперка	+	+	+	+	+	+
Белый амур	–	–	+	+	+	–
Терский пескарь	–	–	–	+	+	–
Верховка	+	–	–	–	–	–
Линь	–	–	–	–	+	+
Шемая	–	+	–	–	–	–
Уклея	–	–	+	+	+	+
Лещ	–	–	+	+	+	+
Синец	–	+	–	–	–	–
Густера	–	–	–	–	+	+
Золотой карась	+	+	+	+	+	–
Серебряный карась	+	+	+	+	+	+
Сазан	+	+	+	+	+	+
Белый толстолобик	–	–	+	+	+	–
Пестрый толстолобик	–	–	–	+	+	–
Буффало	–	–	–	+	+	–
Сом	–	+	+	+	+	+
Малая южная колюшка	–	–	+	+	+	+
Судак	+	+	+	+	+	+
Окунь	–	–	+	+	+	+
Игла-рыба	–	+	+	+	+	+
Бычок-бубырь	–	–	+	+	+	+
Бычок-песочник	–	–	–	+	+	+
Бычок-цуцик	–	–	–	+	+	+

сельдевых, бычковых, игловых, колюшковых и чукучановых. За рассматриваемый период среди взрослых популяций доминируют карповые, у молоди — карповые и бычковые.

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что указанные в 1961 и 1972 гг. килька, верховка, шемая, синец в последующие годы не отмечены, т. к. не нашли в Состинских озерах благоприятные условия среды обитания и не смогли образовать жизнестойкие популяции. В последние годы произошло исчезновение видов-акклиматизантов (белый и пестрый толстолобики, белый амур, буффало), т. к. отсутствовало с 1994 г. регулярное зарыбление рыбопосадочным материалом. Исчез золотой карась. Это наблюдается не только в Состинских озерах, но практически во всех водоемах Республики Калмыкия и прилежащих регионов. Также после 1991 г. не встречался терский пескарь. Нерегулярное водоснабжение и высокая испаряемость обусловливали значительные колебания площадей, глубин и минерализации, особенно в засушливые годы (Позняк, Петрушкиева, 1999), и привели к его исчезновению.

Состинские озера являются рыбохозяйственным водоемом Республики Калмыкия и относятся к Волжско-Каспийскому рыбохозяйственному бассейну. Лов рыбы в них осуществляется ставными сетями с ячей 50 мм и выше. Уловы за многолетний период (1965–2020 гг.) изменялись в широких пределах. До 1970 г. средний улов составлял 14,0 т. С 1970 г., с вводом в эксплуатацию Чограйского водохранилища, значительно улучшилось водообеспечение озер, уловы стали расти, и объем вылова рыбы в конце 80-х годов достигал 198,0 т. Затем уловы снижались, и в 2003 г. годовой вылов достиг минимума — 2,6 т. С 2007 по 2017 гг. водоемы были отданы в аренду для пастбищного рыбоводства, и уловы находились в пределах 1,2–12,5 т.

В 2018 г. статус Состинских озер приведен в соответствие с действующим законодательством, и теперь они являются федеральной собственностью. На озерах осуществляется промышленное рыболовство на рыболовных участках. Вылов в 2018–2020 гг. изменялся в пределах 9,0–48,4 т. Резкие колебания уловов вызваны не столько естественными колебаниями численности ихтиофауны, сколько организацией и спецификой условий промысла в конкретном году (техническая оснащенность и сроки промысла, погодные условия, состояние тоневых участков, уровень воды, проблемы с реализацией рыбы), а также изменениями законодательства (Позняк, Петрушкиева, 2005). Промысловое значение в Состинских озерах имеют 11 видов рыб, однако промыслом стабильно используются 7 (сазан, лещ, щука, судак, карась серебряный, красноперка, окунь). Доминантами являются сазан, лещ и карась серебряный. Биологические показатели промысловых видов рыб отражены в таблице 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные данные исследований показывают, что в силу особенностей климата, динамики водопоступления и характера эксплуатации отмечается непостоянство гидрологического и гидрохимического режима Состинских озер: значительно уменьшаются глубины, сокращаются площади, повышается минерализация, увеличивается количество органического вещества в воде, увеличивается зарастаемость, в результате чего снижается эффективность естественного нереста и происходят годовые и многолетние колебания численности и качественного состава гидробионтов (Петрушкиева, 2007).

В целях повышения рыбопродуктивности Состинских озер необходимо решение вопроса водообеспечения. Для увеличения рыбопродуктивности требуются мелиорация и реконструкция промысловой фауны с подбором для зарыбления комплекса рыб, использующих все трофические уровни экосистемы. При этом основной упор следует сделать на растительноядных рыб, т. к. для этих водоемов характерен высокий уровень первичной продукции, в которой велика доля высшей водной растительности, возрастающая с уменьшением глубин (Петрушкиева, 2008; Петрушкиева, Болаев, 2012).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Астанин Л.П., Юрьев Г.С. 1965. Ихтиофауна Состинских озер (Калмыцкая АССР) и ее хозяйственное использование // Тр. Ставропольского СХИ. Вып. 19. С. 11–14.

Таблица 2. Биологические показатели рыб из промысловых уловов
Table 2. Biological characteristics of fish from commercial catches

Вид рыб	Длина, см		Масса, кг		Возраст, годы		Самки, %
	пределы	средняя	пределы	средняя	пределы	средний	
Сазан	22–48	36,3	0,23–2,15	1,13	2–6	4,2	51
Лещ	21–38	31,0	0,18–1,01	0,57	3–8	5,8	64
Судак	24–50	41,4	0,16–1,59	0,93	2–6	4,3	48
Щука	38–57	45,6	0,52–1,64	0,87	2–6	3,6	54
Карась серебряный	20–30	24,8	0,23–0,94	0,56	3–7	4,7	65
Красноперка	19–28	22,8	0,16–0,52	0,31	4–8	5,4	78
Окунь пресноводный	17–30	24,0	0,09–0,67	0,33	3–8	5,3	92

Петрушкиева Д.С. 2007. Состояние запасов промысловых рыб во внутренних водоемах Республики Калмыкия / Проблемы изучения, сохранения и восстановления водных биологических ресурсов в XXI веке: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (16–18 октября 2007 г., Астрахань). Астрахань: КаспНИРХ. С. 89–93.
Петрушкиева Д.С. 2008. Актуальность развития пастбищной аквакультуры во внутренних водоемах Республики Калмыкия / Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна: Матер. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (13–16 октября 2008 г., Астрахань). Астрахань: КаспНИРХ. С. 383–386.
Петрушкиева Д.С., Болаев Б.К. 2012. Анализ состояния пастбищной аквакультуры в Республике Калмыкия / Рыбохозяйственные исследования в низовьях реки Волги и Каспийском море: Сб. науч. тр. Астрахань: КаспНИРХ. С. 12–131.
Позняк В.Г. 1987. Животный мир Калмыкии. Рыбы. Элиста: Калм. кн. изд-во. 58 с.
Позняк В.Г., Келлерова С.П. 1993. К характеристике рыбного населения водоемов зоны Черных земель / Фауна и экология животных Черных земель: Сб. науч. тр. Элиста: Калм. гос. ун-т. С. 52–63.
Позняк В.Г., Петрушкиева Д.С. 1999. Рыбохозяйственная ситуация на внутренних водоемах Северо-Западного Прикаспия (в пределах Калмыкии) / Экосистемы Прикаспия – XXI веку: Матер. Междунар. науч. конф. (23–30 мая 1998 г.). Ч. 2. Элиста–Астрахань: Калм. гос. ун-т. С. 111–112.
Позняк В.Г., Петрушкиева Д.С. 2005. Рыбные ресурсы Калмыкии / Матер. науч. конф. «Монголы в глобальном мире, социально-экономические и экологические проблемы». Элиста: Калм. гос. ун-т. С. 296–298.
Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М.: Пищ. пром-сть. 376 с.
Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР. 164 с.

УДК 574.1(574.3)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЗООБЕНТОСА НА РАЗЛИЧНЫХ ГРУНТАХ В ДЖАРЫЛГАЧСКОМ ЗАЛИВЕ ЧЕРНОГО МОРЯ

Александр Сергеевич Терентьев

Отдел «Керченский» Азово-Черноморского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АзНИИРХ), Керчь, Россия, iskander65@bk.ru

Аннотация. В зообентосе Джарылгачского залива Черного моря обнаружено 100 видов донных животных. В видовом богатстве преобладали ракообразные, полихеты, двустворчатые моллюски. Видовое разнообразие в заливе отличалось крайней неравномерностью. Низкое видовое богатство зообентоса наблюдалось в западной части залива, а высокое в его центральной и юго-восточной части. Разнообразие зообентоса связано с типом грунта. Наиболее сильное влияние на видовое богатство оказывает количество ракуши и илистой фракции в грунте. В первом случае наблюдается тенденция к увеличению видового богатства зообентоса, а во втором — к его снижению. Наиболее высокое видовое разнообразие наблюдалось в биотопе песчаной ракуши, а наиболее низкое — на иле. По видовому составу зообентос можно разделить на население илисто-песчаных грунтов и ракушечников с примыкающих к ним населением ила. Население песка по видовому составу занимает промежуточное положение между этими двумя группировками.

Ключевые слова: Черное море, Джарылгачский залив, видовое богатство, зообентос, грунты

SPECIES DIVERSITY OF ZOOBENTHOS ON VARIOUS BOTTOM SUBSTRATES IN THE DZHARYLHACH BAY OF THE BLACK SEA

Alexander S. Terentev

Kerch Department of the Azov-Black Sea Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (AzNIIRKH), Kerch, Russia, iskander65@bk.ru

Abstract. 100 species of bottom animal species have been recorded in the zoobenthos of the Dzharylhach Bay, Black Sea. In the species diversity crustaceans, polychaetes, and bivalves had the main role. Distribution of the species diversity within the bay was greatly irregular. The lowest values of zoobenthos species diversity were recorded in the western part of the bay, and the highest – in the central and south-eastern parts. Zoobenthos diversity is closely associated with the type of bottom substrate. Among many factors influencing species diversity, the main one is the fraction of shell and silt in the bottom substrate. The species richness of zoobenthos increases with the increase of shell fraction and decreases with the increase of silt. The highest species diversity was recorded in the sandy shell biotope, and the lowest one – on the silt bottom. In terms of species composition, the zoobenthos can be categorized into the communities of silty sand bottoms and of shelly bottoms, with the adjacent silty bottom community. Species composition of sandy bottom community, as compared to that of the former zoobenthos groups, occupies an intermediate place.

Keywords: Black Sea, Dzharylhach Bay, species diversity, zoobenthos, bottom substrates

Джарылгачский залив расположен в северо-западной части Черного моря и отделен от Каркинитского залива одноименным островом Джарылгач. Он уникален тем, что в него не впадает ни одна река. В этих условиях его видовое разнообразие представляет особый интерес.

В работе использованы материалы, собранные в восточной части Джарылгачского залива в 1993 г. Бентосные пробы отбирались ручным дночерпателем ДЧ-0,025, площадью охвата 0,025м^2. Всего выполнено 70 станций в 1 повторности (рис. 1).

Таксономическая обработка проб осуществлялась по трехтомному определителю фауны Черного и Азовского морей (Определитель.., 1968, 1969, 1972) с уточнениями по номенклатурным изменениям (Pitombo, 2004; WoRMS, 2021). В основу классификации грунтов была положена схема, предложенная Элринг-

хом (Eltringham, 1971). Для оценки видового разнообразия использовалась плотность видов как число видов на единицу площади (Словарь.., 1984), в данном случае на площадь охвата дночерпателя. Для сходства видового состава зообентоса различных грунтов использовались хорошо дополняющие друг друга индексы Чекановского–Сёренса и Синкевича–Симсона. Критерием сходства служил критерий Фишера (Зайцев, 1979).

На акватории Джарылгачского залива было выделено семь типов грунта: песок, илистый песок, песчанистый ил, песчанистая ракуша, ракуша, заиленная ракуша и ил (рис. 2).

Песок начинается от берега и опускается до 10 м глубины. Илистый песок залегает в основном на глубинах 7–11 м. Песчанистый ил располагается от прибрежья до 9 м глубины. Песчанистая ракуша присутствует на всем диапазоне глубин. Ракушечники начинаются от берега и уходят на глубину до 9 м. Заиленная ракуша в основном залегает на глубинах 7–9 м. Ил в основном лежит на глубинах 4–9 м.

Всего было обнаружено 100 видов животных. В видовом богатстве преобладали ракообразные, представленные 30 видами. Далее шли полихеты, насчитывающие 20 видов. Практически не уступали им по видовому богатству двустворчатые моллюски (18 видов). Также обнаружено 13 видов брюхоногих моллюсков и 1 вид панцирных моллюсков, 8 видов кремнероговых губок, 4 вида книдарий. Встречено 3 вида асцидий и 1 вид форонид. В обрастаниях отмечались мшанки. В сборах также присутствовали немертины. Так как этот список составлен на основании дночерпательных сборов, в которых присутствуют в основном малоподвижные виды, то его нельзя считать полным (Воробьев, 1949).

Видовое богатство зообентоса на различных участках залива Джарылгач было очень неравномерным. Так, наиболее низкая плотность видов наблюдалась в западной части залива, а также возле п-ова Хорлы (рис. 3).

Высокая плотность видов наблюдалась в центральной и юго-восточной части залива. Плотность

Рис. 1. Схема гидробиологических станций на акватории Джарылгачского залива
Fig. 1. The scheme of the hydrobiological stations in the Dzharylgach Bay

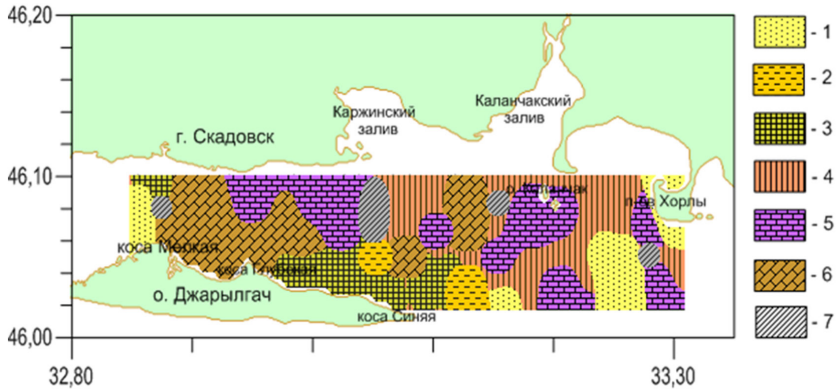

Рис. 2. Распределение грунтов на акватории Джарылгачского залива. Усл. обозначения: 1 — песок, 2 — илистый песок, 3 — песчанистый ил, 4 — песчанистая ракуша, 5 — ракуша, 6 — заиленная ракуша, 7 — ил
Fig. 2. The distribution of substrates in the Dzharylgach Bay. Symbols: 1 – sand, 2 – silty sand, 3 – sandy silt, 4 – sandy shell, 5 – shell, 6 – silty shell, 7 – silt

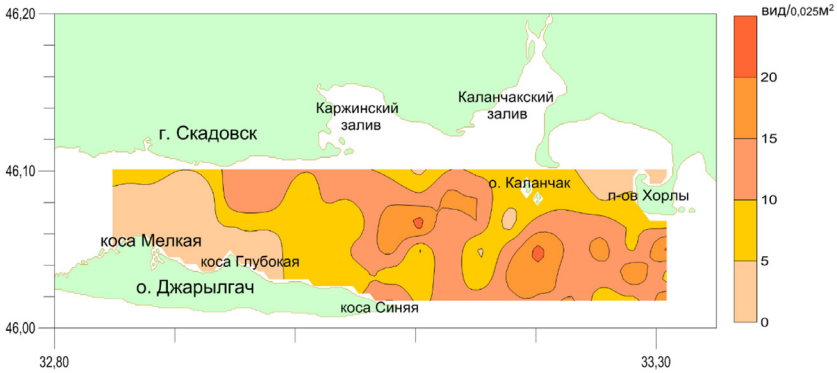

Рис. 3. Плотность видов зообентоса Джарылгачского залива
Fig. 3. The density of zoobenthos species in the Dzharylgach Bay

видов колебалась от 1 до 23, а в среднем равнялась 10,1 ± 0,7 вид / 0,025 м^2.

Между составом грунта и плотностью видов различных таксономических групп, за исключением губок, книдарий и асцидий, существует довольно значительная корреляционная связь (табл. 1).

Причем для ракуши в основном положительная, а ила — отрицательная. Изменение доли песчаной фракции имеет значимую положительную связь только для брюхоногих моллюсков и ракообразных. От содержания ракуши в грунте сильно зависели полихеты и в меньшей степени ракообразные и двустворчатые моллюски. Илистая фракция в большей мере влияла на плотность видов ракообразных. В меньшей степени — на плотность видов полихет и двустворчатых моллюсков. Содержание песка — на плотность видов брюхоногих моллюсков и ракообразных. В целом плотность видов всего зообентоса по большей мере зависело от содержания ракуши и ила в грунте.

По мере увеличения доли ракуши в грунте видовое богатство зообентоса увеличивается. Максимум наблюдается, когда доля ракуши достигает 80%, но затем наблюдается резкое снижение видового богатства зообентоса, и на чистом ракушечнике оно становится минимальным (рис. 4).

По мере увеличения доли илистой фракции в грунте плотность видов постепенно снижается и достигает своего минимума на илах. Однако при низком содержании ила в грунте видовая плотность тоже оказывается относительно небольшой. Максимальное видовое богатство отмечается тогда, когда доля илистой фракции в грунте равнялась 15%.

Содержание различных фракций по-разному влияет на плотность видов различных таксономических групп (рис. 5).

Так, при практически полном отсутствии ракуши в грунте плотность видов полихет относительно небольшая и в среднем равняется 1,4 ± 0,6 вид/м^2. По мере повышения доли ракуши в грунте растет и видовое богатство полихет. Максимальная плотность видов наблюдается тогда, когда доля ракуши в грунте достигает 70%. В этом случае плотность видов полихет в среднем равняется 6,5 ± 0,7 вид/м^2. При дальнейшем увеличении доли ракуши в грунте их плотность видов снижается и на практически чистом ракушечнике падает почти до нуля. При увеличении иловой фракции наблюдается несколько иная картина. На участках, свободных от илов, плотность видов полихет в среднем равнялась до 2,6 ± 1,4 вид/м^2. Максимальной плотности (5,7 ± 1,1 вид/м^2) они достигали, когда доля илистой фракции в грунте достигала 14%. По мере заиления грунта наблюдалось снижение плотности видов полихет, и на практически чистых илах оно также упало почти до нуля.

Плотность видов двустворчатых моллюсков низкая как при очень низком, так и при очень высоком содер-

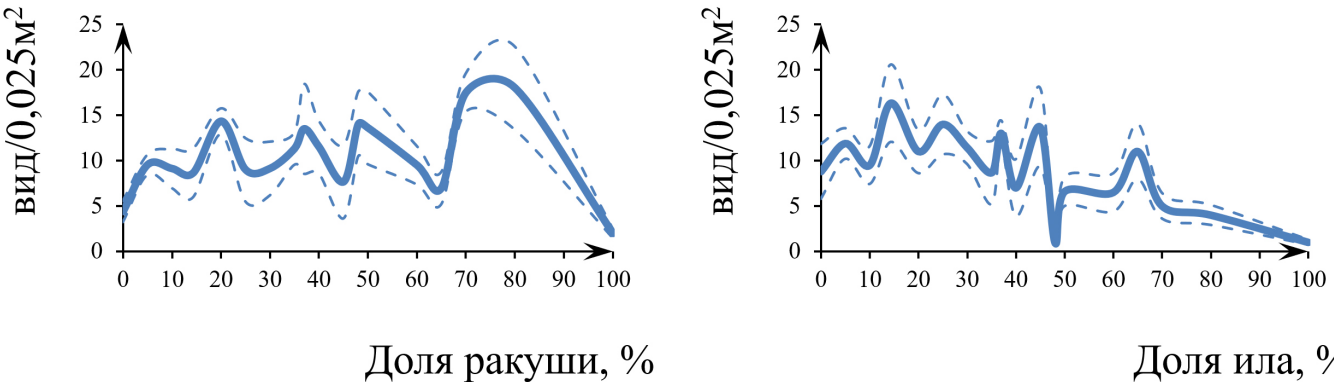

Рис. 4. Зависимость плотности видов зообентоса Джарылгачского залива от доли ракуши и ила в грунте
Fig. 4. The correlation between the density of zoobenthos species in the Dzharylgach Bay and the contribution of shells and silt into the substrate composition

Таблица 1. Корреляция плотность видов различных таксономических групп зообентоса и содержанием различных фракций в грунте Джарылгачского залива
Table 1. Correlation between the density of zooplankton from different taxonomic groups and the ratio of fractions in the soil of Dzharylhach Bay

Таксономическая группа	Коэффициент корреляции от содержания в грунте		
	ракуши	песка	ила
Губка	+0,07 ± 0,12	+0,02 ± 0,12	–0,09 ± 0,12
Книдарии	–0,11 ± 0,12	+0,07 ± 0,12	+0,06 ± 0,12
Полихеты	+0,34 ± 0,11	–0,14 ± 0,12	–0,24 ± 0,12
Ракообразные	+0,27 ± 0,12	+0,19 ± 0,12	–0,43 ± 0,11
Брюхоногие моллюски	–0,01 ± 0,12	+0,20 ± 0,12	–0,15 ± 0,12
Двустворчатые моллюски	+0,23 ± 0,12	–0,03 ± 0,12	–0,21 ± 0,12
Асцидии	–0,02 ± 0,12	+0,05 ± 0,12	–0,02 ± 0,12
Общая плотность видов	**+0,28 ± 0,12**	**+0,07 ± 0,12**	**–0,34 ± 0,11**

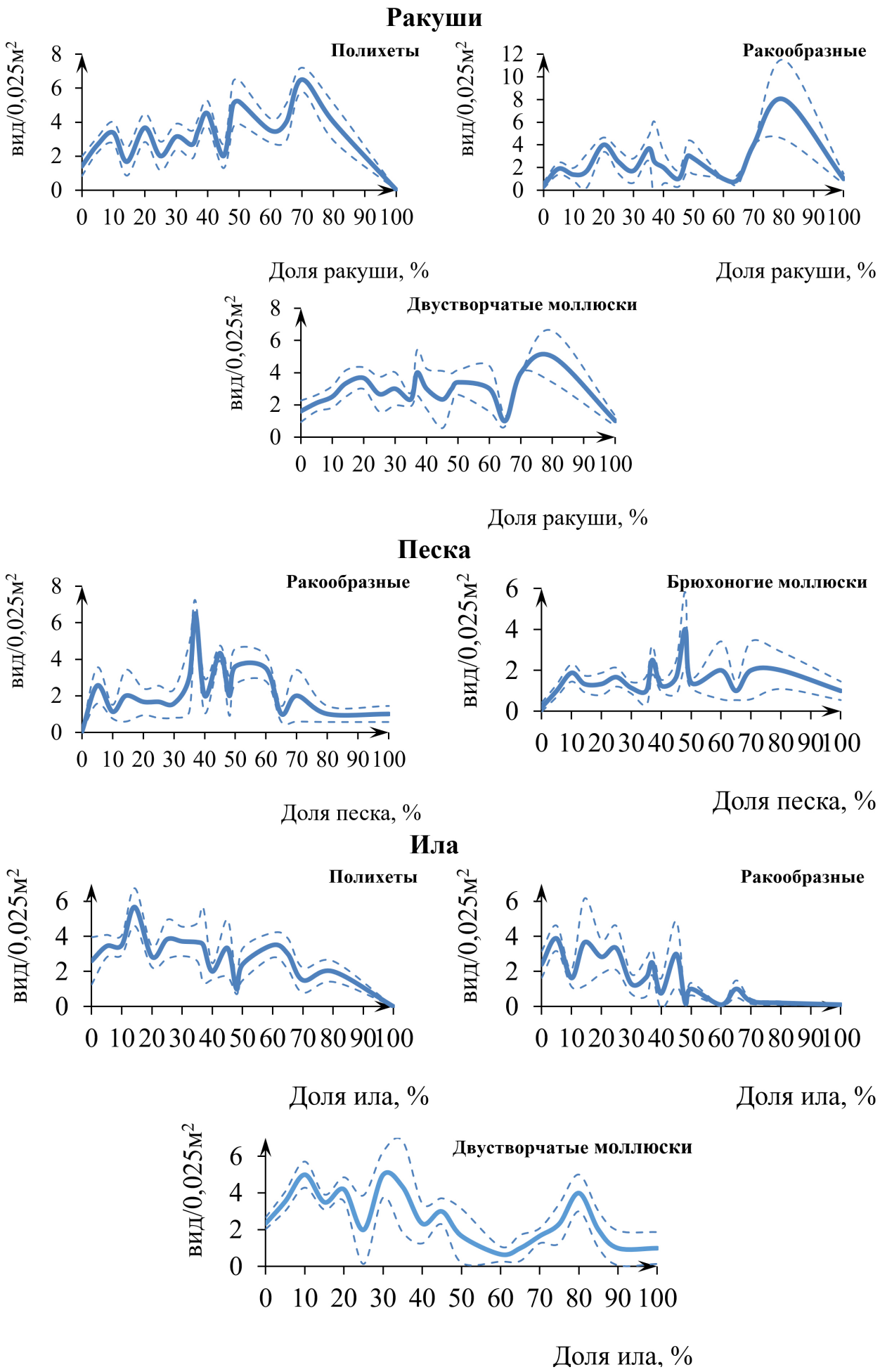

Рис. 5. Зависимость плотности видов ракообразных, брюхоногих моллюсков, двустворчатых моллюсков и полихет Джарылгачского залива от доли ракуши, песка или ила в грунте
Fig. 5. The correlation between the species density of crustaceans, gastropods, bivalves and polychaetes of the Dzharylgach Bay and the contribution of shells, sand or silt into the substrate composition

жании ракуши в грунте. При практически полном отсутствии ракуши в грунте плотность видов в среднем равнялась 1,6 ± 0,7 вид/м² и не превышала 5 вид/м². На практически чистых ракушечниках она в среднем равнялась 1,0 ± 0,3 вид/м² и также не превышала 5 вид/м². Максимальная плотность видов (5,0 ± 1,6 вид/м²) наблюдалась при содержании 80% ракуши в грунте. На грунтах практически свободных от ила плотность двустворчатых моллюсков в среднем равнялась 2,3 ± ± 0,3 вид/м². При содержании илистой фракции в грунте 10% она увеличилась до 5,0 ± 0,7 вид/м². С этого момента при увеличении количества ила в грунте до 60% плотность видов двустворчатых моллюсков уменьшается до 0,7 ± 0,4 вид/м². Еще один пик плотности видов наблюдался, когда содержание илистой фракции в грунте достигло 80%. В этом случае плотность видов в среднем равнялась 4,0 ± 1,0 вид/м². Начиная с 90% содержания ила в грунте, плотность видов двустворчатых моллюсков в среднем равнялась 1,0 ± 0,9 вид/м².

На участках дна, где практически отсутствует песчаная фракция, плотность видов брюхоногих моллюсков в среднем равнялась 0,20 ± 0,17 вид/м². Максимальная плотность видов (2,5 ± 0,7 вид/м²) наблюдается при содержании 37% песка в грунте. На практически чистом песке плотность видов брюхоногих моллюсков в среднем равнялась 1,0 ± 0,4 вид/м². В остальных случаях она была в среднем 1,5 ± 0,1 вид/м².

Как показывают расчеты, тип грунта на 12–20% определяет видовое богатство зообентоса, которое на разных типах грунта колебалось от 18 до 70 видов животных (рис. 6).

Наибольшим видовым богатством отличается песчанистая ракуша, а наименьшим — ил. На втором месте по видовому богатству находилась ракуша. Здесь было обнаружено 54 вида животных. Относительно высоким видовым богатством отличалась заиленная ракуша. Здесь было обнаружено 37 видов животных. На остальных грунтах было встречено от 29 до 27 видов.

Как уже говорилось ранее, наибольшую часть видового богатства занимали двустворчатые моллюски, полихеты и ракообразные. На их долю на разных грунтах приходилось от 67 до 83% всего видового богатства. При этом доля полихет колебалась от 22 до 33% видового богатства, ракообразных — от 11 до 33%, двустворчатых моллюсков — от 19 до 39%. Наибольшим видовым богатством полихет отличаются песчанистая ракуша и ракуша. На песчанистой ракуше также наблюдается наибольшее видовое богатство ракообразных. Наиболее высоким

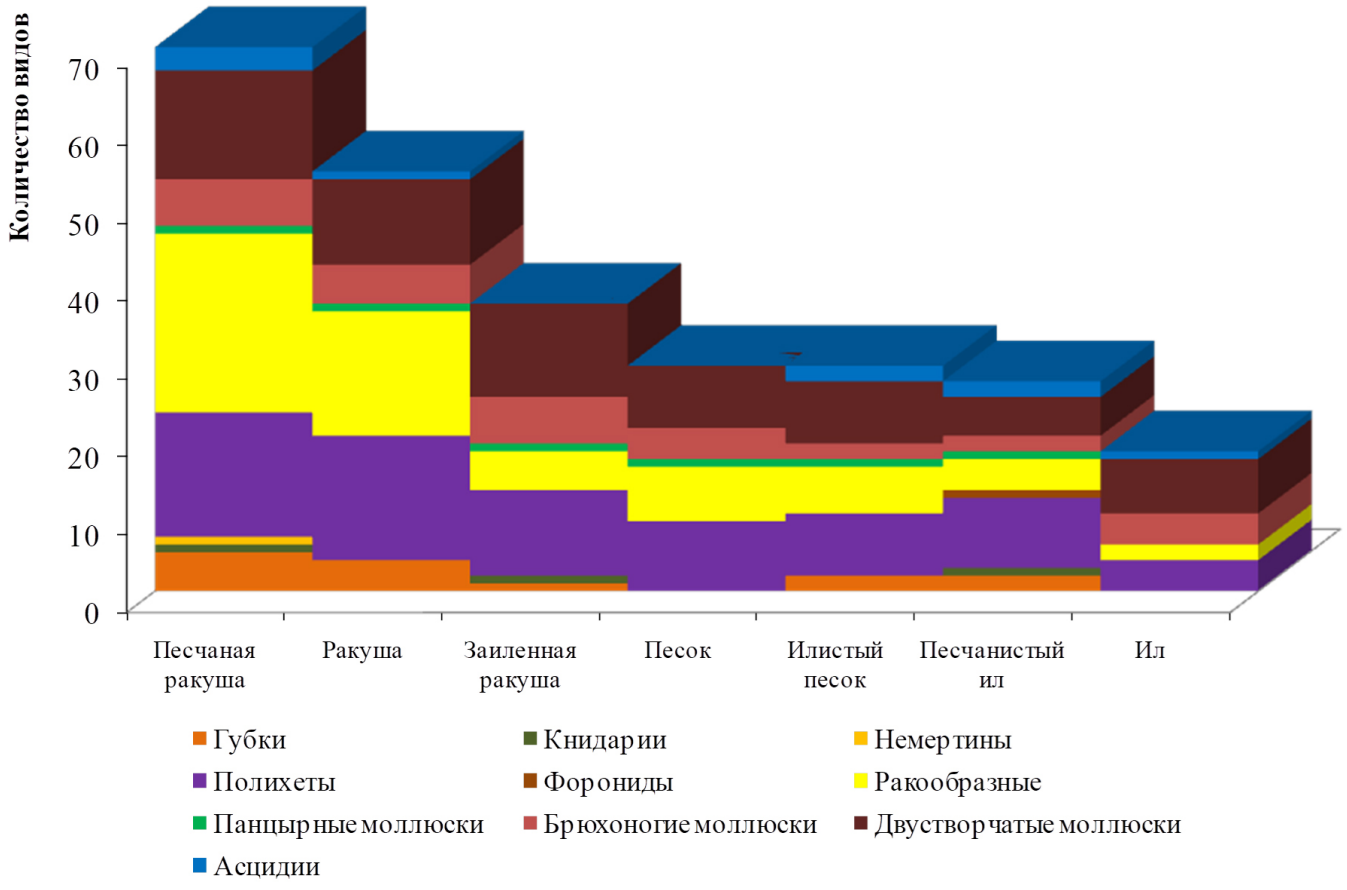

Рис. 6. Видовое богатство зообентоса на различных грунтах Джарылгачского залива
Fig. 6. Species diversity of zoobenthos on different substrates of the Dzharylgach Bay

видовым богатством двустворчатых моллюсков отличаются песчанистая ракуша, заиленная ракуша и ракуша. Однако, в связи с неравномерным распределением видового богатства по грунтам, наибольшая доля в общем видовом богатстве зообентоса для полихет наблюдается на песке и песчанистом иле, для ракообразных — на песчанистой ракуше и ракуше, а для двустворчатых моллюсков — на иле и заиленной ракуше.

Если рассмотреть каждую таксономическую группу отдельно, то видно, что губки полностью отсутствовали на иле. На заиленной ракуше и песке было отмечено по одному виду губок. Наибольшего видового богатства они достигают на песчаной ракуше и ракуше (табл. 2).

Книдарии встречаются в основном на грунтах смешанного типа. На иле и песке они отмечены не были. Из полихет наиболее часто встречались такие виды, как: *H. imbricata*, *H. reticulata*, *L. koreni*, *M. palmata*, *N. hombergii* и *P. dumerilii*. На песчанистой ракуше часто встречался *P. cultrifera*, но на других грунтах он был редок. На ракуше обычным видом был *L. leiopygos*, другие грунты этот вид, по-видимому, избегает. Такие виды, как *G. tuberculata*, *G. Tridactyla* и *S. triqueter* встречались на многих типах грунтов, но повсюду встречались нечасто. Форониды изредка

Таблица 2. Видовое богатство зообентоса на различных грунтах Джарылгачского залива
Table 2. Species diversity of zoobenthos in different soils of Dzharylhach Bay

Вид	Тип грунта						
	Песок	Илистый песок	Песчанистый ил	Песчанистая ракуша	Ракуша	Заиленная ракуша	Ил
Тип: Porifera Класс: Demospongiae							
Dysidea fragilis		Р		Р	Р		
Halichondria (*Halichondria*) *panicea*				Р	Р		
Haliclona (*Gellius*) *angulata*		Р	Р	Р			
Haliclona (*Reniera*) *cinerea*	Р						
Haliclona (*Soestella*) *implexa*				Р			
Haliclona gracilis				Р		Р	
Ulosa stuposa			Р		Р		
Petrosia (*Petrosia*) *ficiformis*					Р		
Тип: Cnidaria Класс: Hydrozoa							
Laomedea exigua				Р			
Obelia longissima						Р	
Класс: Anthozoa							
Sagartiogeton undatus			Р				
Тип: Nemertini							
Класс: Nemertini							
Nemertini g. sp.				Р			
Тип: Annelida Класс: Polychaeta							
Alitta succinea					Р		
Genetyllis tuberculata	Р	Р		Р	Р	Р	
Glicera tridactyla			Р	Р	Р	Р	
Harmothoe imbricate	Д	Р	Р	Д	П	П	
Harmothoe reticulata	Р	Д		П	П		
Lagis koreni	П	П	Р	Д	П	Д	Р
Leiochone leiopygos				Р	Д		
Melinna palmata	Р	Д	П	Д	П	П	П
Microspio mecznikowianus					Р		
Mysta picta		Р	Р	Р	Р		
Nephthys hombergii	П		П	Д	Д	П	П
Nereiphylla paretti				Р			
Nereis zonata				Р			
Perinereis cultrifera			Р	Д	Р	Р	
Petaloproctus terricola	Р						
Pileolaria militaris				Р			
Platynereis dumerilii	Д	П	Д	Д	Д	Р	Р
Prionospio cirrifera					Р		
Spio filicornis					Р	Р	
Spirobranchus triqueter	Р	Р	Р	Р	Р	Р	
Syllis gracilis				Р		Р	
Тип: Phoronida							
Phoronis psammophila			Р				
Тип: Arthropoda Класс: Malacostraca							
Amathillina cristata				Р	Р		
Ampelisca diadema	П	П	Р	П	П	Д	Р
Ampithoe ramondi	Р	Д		Д	Д	Р	

Таблица 2. Окончание. Начало на с. 167
Table 2. The end. Beginning on page 167

Вид	Тип грунта						
	Песок	Илистый песок	Песчанистый ил	Песчанистая ракуша	Ракуша	Заиленная ракуша	Ил
Apherusa bispinoda				Р			
Apseudopsis ostroumovi	Р			Д	Д		
Chaetogammarus ischnus				Р			
Chaetogammarus placidus					Р		
Corophium volutator				Р	Р		
Dexamine spinosa		Р		Р	Р		
Diogenes pugilator		Д		Р			
Echinogammarus olivii				Р			
Ericthonius difformis				Р			
Ericthonius rubricornis				Р			
Gammarus subtypicus			Р				
Idotea baltica					Р		
Iphinoe tenella	Р	Р	Р				
Melita palmata	Р			Р	Р		
Microdeutopus algicola				Р			
Microdeutopus gryllotalpa				Р			
Microdeutopus versiculatus				Р	Р		
Microprotopus longimanus				Р			
Mysidae sp.				Р	Р		
Perioculodes longimanus				Р			
Pilumnus hirtellus					Р		
Pisidia longimana				Р			
Pseudocuma (*Stenocuma*) *cercarioides*					Р		
Sphaeroma serratum	Д			Д	Р	Р	
Stenosoma capito	Д	Р		Д	Д	Р	Р
Upogebia pusilla				Р			
Класс: Hexanauplia			Р		Д	Р	
Amphibalanus improvisus			Р		Д	Р	
Тип: Mollusca Класс: Polyplacophora							
Lepidohitona cinerea	Р	Р	Р	Д	Д	Р	
Класс: Gasropoda							
Bela nebula						Р	
Bittium reticulatum	П	П	П	П	П	П	П
Calyptraea chinensis	Д	Р	Р	Д	Р	Д	Д
Gibbula albida	Д			Д	Д	Р	Р
Hydrobia acuta				Р			
Retusa truncatula						Р	
Rissoa parva				Р			
Rissoa venusta				Р	Р		
Tricolia pullus	Р						
Tritia neritea							Р
Tritia pellucida					Р		
Trophonopsis breviata						Р	
Класс: Bivalvia							
Abra alba			Р				
Abra nitida milachewichi						Д	
Abra segmentum	Р			Р	Р	Д	
Cerastoderma glaucum		Р		Д		Р	Р
Chamelea gallina	П	Р	Р	П	Д	Д	П
Gibbomodiola adriatica	Р	Р		Р	Д	Д	Р
Gouldia minima					Р		
Irus irus				Р		Р	Р
Lentidium mediterraneum				Р			
Loripes orbiculatus		Р	Р	Р	Р	Д	
Lucinella divaricate				Р			
Macomangulus tenuis					Р		Д
Mya arenaria	Р	Р		Р	Р		
Mytilaster lineatus	Д	П		П	П	Д	Р
Mytilus galloprovincialis	Р	Д		Д	Д	Д	
Parvicardium exiguum			Д	Р	Р	Р	
Parvicardium simile	Р			Р		Р	
Polititapes aureus	П	Р		Д	Д	Д	П
Тип: Chordata Класс: Ascidiacea							
Botryllus schlosseri		Р	Р	Р			
Molgula appendiculata		Р	Р	Р	Р		Р
Molgula euprocta				Р			

Примечания: П — постоянный (встречаемость более 50%), Д — добавочный (25–50%), Р — редкий (менее 25%).

встречались на песчанистом иле. Практически на всех типах грунтов встречались *A. diadema* и *S. capito*. На многих типах грунтов встречался *A. ramondi*. Ракушу и песчанистую ракушу предпочитал *A. ostroumovi*. На ракуше обычным видом был *A. improvisus*. Панцирные моллюски встречались на всех типах грунтов, за исключением ила. Наиболее обычными они были на ракуше и песчанистой ракуше. Брюхоногий моллюск *B. reticulatum* был массовым видом на всех типах грунтов. Часто встречались также *C. chinensis* и *G. albida*. Наиболее обычными двустворчатыми моллюсками в заливе были *C. gallina*, *M. lineatus*, *M. galloprovincialis* и *P. aureus*. *G. adriatica* встречалась практически на всех типах грунтов, но предпочитала ракушу и заиленную ракушу. Заиленную ракушу также предпочитали *A. nitida milachewichi*, *A. segmentum* и *L. orbiculatus*. Ну а такой вид, как *M. tenuis*, часто встречался только на иле. Асцидии встречаются не часто. Наиболее распространенным видом является *M. appendiculata*, а *M. euprocta* был отмечен только на песчанистой ракуше.

Уровень сходства зообентоса по Чекановскому–Серенсу на различных грунтах колебался от 0,33 до 0,69 (табл. 3).

Более детальный анализ показывает, что между населением песчанистой ракуши, ракуши, заиленной ракуши и ила наблюдается достаточно высокое сходство по видовому богатству. Эту группу можно охарактеризовать как группа ракушевых грунтов (рис. 7).

Население ила достаточно схоже с населением ракушечников. Другую группу образовывало население илистого песка и песчанистого ила. Особняком стояло население песка. По видовому составу оно занимало промежуточное значение между илисто-песчаными и ракушевыми грунтами.

В эдафической структуре население различных грунтов довольно сильно различалось друг от друга (рис. 8).

Таблица 3. Сходство видового состава зообентоса на различных грунтах Джарылгачского залива
Table 3. Similarity of the species composition of zoobenthos from different soils of Dzharylhach Bay

Тип грунта	Индекс сходства Чекановского–Серенса						
	Песок	Илистый песок	Песчанистый ил	Песчанистая ракуша	Ракуша	Заиленная ракуша	Ил
Песок		0,63	0,38	0,49	0,52	0,66	0,57
Илистый песок	0,70		0,52	0,50	0,50	0,61	0,63
Песчанистый ил	0,47	0,58		0,31	0,34	0,42	0,49
Песчанистая ракуша	0,82	0,96	0,68		0,59	0,55	0,34
Ракуша	0,79	0,87	0,68	0,63		0,53	0,37
Заиленная ракуша	0,71	0,74	0,58	0,82	0,73		0,55
Ил	0,72	0,72	0,47	0,78	0,78	0,78	
	Индекс сходства Синкевича–Симпсона						

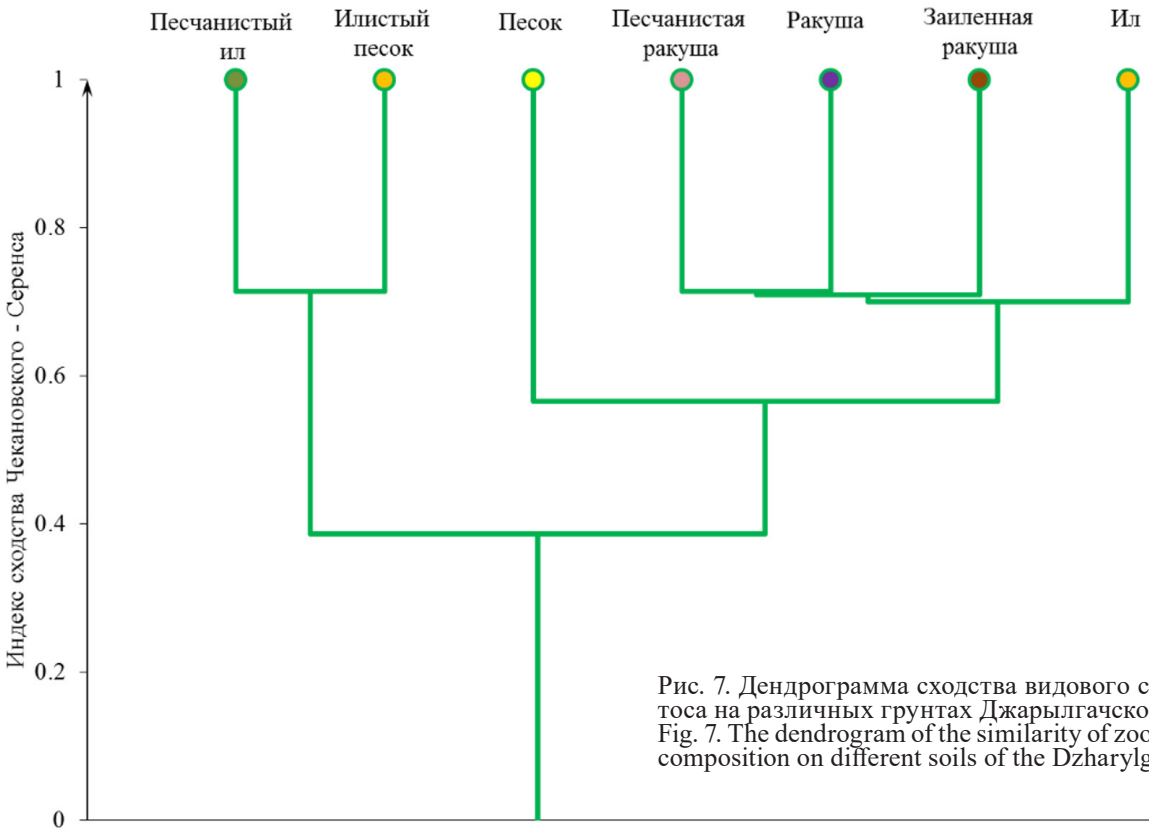

Рис. 7. Дендрограмма сходства видового состава зообентоса на различных грунтах Джарылгачского залива
Fig. 7. The dendrogram of the similarity of zoobenthos species composition on different soils of the Dzharylgach Bay

Рис. 8. Эдафическая структура зообентоса на различных грунтов Джарылгачского залива
Fig. 8. The edaphic structure of zoobenthos on different substrates of the Dzharylgach Bay

На илисто-песчаных грунтах главную роль в видовом богатстве играли полихеты и двустворчатые моллюски. На их долю приходилось соответственно по 27% видового богатства зообентоса. За ними шли ракообразные (20% видового богатства). Значительную долю (около 10%) занимали губки. Не более чем по 5% видового богатства зообентоса приходилось на долю брюхоногих моллюсков и асцидий.

На песке преобладали полихеты, двустворчатые моллюски и ракообразные. На их долю приходилось соответственно 30, 27 и 23% видового богатства зообентоса. Доля брюхоногих моллюсков увеличилась до 13%, на долю губок и панцирных моллюсков приходилось по 3% видового хозяйства. При этом практически не встречались книдарии, немертины и асцидии.

На ракушевых грунтах не были отмечены только форониды. В видовом богатстве доминировали ракообразные, на долю которых приходилось 32% всего видового богатства зообентоса. На втором месте стояли полихеты и двустворчатые моллюски. На их долю приходилось соответственно 23 и 19% видового богатства зообентоса. Около 10% видового богатства приходилось на долю брюхоногих моллюсков и около 8% — на долю губок.

На иле были отмечены двустворчатые и брюхоногие моллюски, а также полихеты, ракообразные и асцидии. В видовом богатстве преобладали двустворчатые моллюски, на долю которых приходилось 39% всего видового богатства зообентоса. На втором месте стояли брюхоногие моллюски и полихеты. На их долю приходилось по 22% всего видового богатства зообентоса. Доля ракообразных равнялась 11%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Воробьев В.П. 1949. Бентос Азовского моря. // Тр. АзЧерНИРО. Вып. 13. Крымиздат. 193 с.
Зайцев Г.Н. 1979. Сравнение флор по их видовому составу // Прикладная математика в биологии. М.: Изд. МГУ. С. 66–69.
Определитель фауны Черного и Азовского морей. 1968. Т. 1. Свободноживущие беспозвоночные. Простейшие, губки, кишечнополостные, черви, щупальцевые. Киев: Наукова думка. 437 с.
Определитель фауны Черного и Азовского морей. 1969. Т. 2. Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные. Киев: Наукова думка. 536 с.
Определитель фауны Черного и Азовского морей. 1972. Т. 3. Свободноживущие беспозвоночные. Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые. Киев: Наукова думка. 340 с.
Словарь ботанических терминов. 1984. Под ред. д. б. н. И.А. Дудки. Киев: Наукова думка. 536 с.
Eltringham S.K. 1971. Life in Mud and Sand. The English Universities Press Ltd. London. 218 p.
Pitombo F.B. 2004. Phylogenetic analysis of the Balanidae (Cirripedia, Balanomorpha) // Zoologica Scripta. Vol. 33. № 3. P. 261–276.
World Register of Marine Species (WoRMS). URL: https://www.marinespecies.org/aphia.php (Дата обращения 29.10.2021).

УДК 639.2:504.062:332.1

ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Игорь Евгеньевич Хованский[1], Андрей Анатольевич Смирнов[2,3]

[1]Межрегиональная общественная организация «Социально-Прогрессивный Альянс научно-теоретического и практического содействия социально-экономическому и культурному росту регионов "Рост Регионов"», Хабаровск, Россия, ikhovansky@mail.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия, andrsmir@mail.ru
[3]Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

Аннотация. Рассмотрены проблемы изучения и сохранения водных биоресурсов Арктической зоны Российской Федерации. Для повышения эффективности освоения и добычи рекомендовано продолжить научно-исследовательские работы по изучению водных биоресурсов и состоянию экологии морей Северного Ледовитого океана, а также осуществление компенсационных мероприятий в Арктической зоне Российской Федерации при условии обязательного общественного контроля.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, водные биоресурсы, сохранение

ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: STUDY AND CONSERVATION OF AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

Igor E. Khovansky[1], Andrey A. Smirnov[2,3]

[1]Interregional Public Organization "Socially Progressive Alliance of Scientific, Theoretical and Practical Assistance to the Socio-Economic and Cultural Rising of Regions 'Rising of Regions'", Khabarovsk, Russia, ikhovansky@mail.ru
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia, andrsmir@mail.ru
[3]North-Eastern State University, Magadan, Russia

Abstract. Problems of study and conservation of aquatic biological resources of the Arctic zone of the Russian Federation are considered. To increase efficiency of development and commercial use, it is recommended to continue researches of aquatic biological resources and of the state of ecology of the seas of the Arctic Ocean, as well as to implement compensatory measures within the Arctic zone of the Russian Federation in terms of mandatory public control.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, aquatic biological resources, conservation

Освоение Арктической зоны является одним из важнейших государственных приоритетов Российской Федерации, реализующим национальные цели и стратегические задачи развития страны. Статус и перспективы освоения Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) определяются многими правовыми документами, но в настоящем сообщении мы будем опираться в большей степени на Указ Президента Российской Федерации от 05 марта 2020 г. № 164, утвердивший Основы государственной политики России в Арктике на период до 2035 г., в том числе и вопросы, связанные с развитием рыбохозяйственного комплекса. Прежде всего, в этом плане интересны положения документа, определившие, что основными задачами в сфере экономического развития Арктической зоны Российской Федерации являются, в том числе: создание условий для повышения эффективности освоения и добычи (вылова) водных биологических ресурсов, стимулирование производства рыбной продукции с высокой добавленной стоимостью и развитие аквакультуры. Основную цель настоящего сообщения составляют: обсуждение существующих видимых проблем и роли общественного сектора в решении поставленных задач, предложение путей их решения.

Арктическая зона РФ (АЗРФ) — это сухопутные территории, определенные Указом Президента России от 02 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях

Арктической зоны Российской Федерации» (табл. 1), а также прилегающие к этим территориям внутренние морские воды, территориальное море, исключительная экономическая зона и континентальный шельф РФ. Географически это арктические моря (Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское), а также Берингово море. Кроме того, идет проработка вопроса о расширении АЗРФ, включение в ее состав дополнительных сухопутных территорий различных субъектов, а также морской акватории Охотского моря. С точки зрения целей и задач развития рыбохозяйственного комплекса территория АЗРФ должна включать в себя еще и бассейны рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, так как виды водных биоресурсов не привязаны к каким-то отдельным речным участкам, а занимают в основном весь бассейн.

Сегодня Арктика — это территория, обеспечивающая добычу более 80% российского горючего природного газа и 17% нефти (включая газовый конденсат). Это реализация в Арктической зоне крупнейших экономических инвестиционных проектов. Континентальный шельф Российской Федерации в Арктике, по оценкам экспертов, содержит более 85,1 трлн м^3 горючего природного газа, 17,3 млрд т нефти (включая газовый конденсат) и является важнейшим стратегическим резервом развития минерально-сырьевой базы России. Необходимо подчеркнуть также значение Северного морского пути как транспортного коридора мирового значения, используемого для перевозки национальных и международных грузов, причем в результате климатических изменений глобальное значение Севморпути будет только возрастать. В Арктической зоне проживают 19 малочисленных народов, располагаются объекты их историко-культурного наследия, имеющие историческую и культурную ценность общемирового значения. Здесь располагаются национальные объекты стратегических сил сдерживания в целях недопущения агрессии против Российской Федерации и ее союзников.

В то же время суровость природных условий, краткосрочность вегетационного периода, а также вероятность наступления в результате антропогенного воздействия и (или) климатических изменений в Арктической зоне событий, имеющих неблагоприятные экологические последствия, создают глобальные риски для хозяйственной системы и окружающей среды в целом, и в том числе для рыбохозяйственного комплекса. Территория чрезвычайно уязвима и не может противостоять и быстро восстанавливаться после чрезмерных антропогенных влияний, что обязательно необходимо учитывать.

В связи с этим не так давно ведущие мировые державы, в том числе Россия, подписали соглашение (Соглашение.., 2021) о предотвращении нерегулируемого промысла в центральной части Северного Ледовитого океана. Соглашение запретило коммерческий вылов рыбы в центральной части Северного Ледовитого океана вне национальных юрисдикций приарктических государств. Россия, США, Канада, Норвегия, Дания, Исландия, Япония, Южная Корея и Европейский союз договорились о 16-летнем моратории на вылов рыбы в акватории, примерно равной площади Средиземного моря.

На рыбохозяйственный комплекс Арктики приходится до 15% от общих объемов уловов водных биоресурсов и рыбной продукции в России. Наиболее изучены и богаты рыбными ресурсами Баренцево и

Таблица 1. Административно-территориальный состав сухопутных территорий Арктической зоны Российской Федерации
Table 1. Administrative and territorial composition of the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation

№ п.п.	Субъект Федерации	Состав
1	Мурманская область	Все районы
2	Ненецкий автономный округ	Все районы
3	Чукотский автономный округ	Все районы
4	Ямало-Ненецкий автономный округ	Все районы
5	Республика Карелия	6 муниципалитетов: Беломорский район, Калевальский район, Кемский район, Костомукшский городской округ, Лоухский район, Сегежский район
6	Республика Коми	4 муниципалитета: городской округ Воркута, городской округ Инта, городской округ Усинск, Усть-Цилемский район
7	Республика Саха (Якутия)	13 муниципалитетов: Абыйский улус, Аллаиховский улус, Анабарский улус, Булунский улус, Верхнеколымский улус, Верхоянский район, Жиганский район, Момский район, Нижнеколымский район, Оленекский район, Среднеколымский улус, Усть-Янский улус, Эвено-Бытантайский национальный улус
8	Красноярский край	4 муниципалитета: город Норильск, Таймырский Долгано-Ненецкий район, Туруханский район, частично Эвенкийский район (10 сельских поселений)
9	Архангельская область	9 муниципалитетов: город Архангельск, Мезенский район, городской округ Новая Земля, город Новодвинск, Онежский район, Приморский район, городской округ Северодвинск, Лешуконский район, Пинежский район

Белое моря, составляющие сырьевую основу Северного рыбохозяйственного бассейна — второго по значимости в отечественном промысле после Дальневосточного. Рыбопромысловый потенциал Баренцева моря формируется, главным образом, запасами трески, пикши, зубатки, черного палтуса, камчатского краба и краба-стригуна опилио (табл. 2). При сохранении современных тенденций к потеплению может существенно возрасти биопродуктивность Карского моря в результате миграций в него сайки, мойвы, трески и краба-стригуна. Ранее в Белом и Баренцевом морях запас сельди оценивался в 12 тыс. т (годовой вылов достигал 684 т), чешско-печорской сельди — 10 тыс. т (вылов 1,5 тыс. т), беломорской наваги — 2 тыс. т (вылов 842,5 т), камбалы и ерша — 70–100 тыс. т (вылов до 1,9 тыс. т). Запасы основного промыслового вида, трески, достигают 1342 тыс. т, а вылов превышает 300 тыс. т.

Численность беломорской популяции гренландского тюленя оценивалась в 2 млн голов, кольчатой нерпы — в 35–45 тыс. голов, а объем ее ежегодной добычи — около 600 голов. Наиболее многочисленным видом китообразных в Белом и Баренцевом морях является белуха, численность которой в бассейне составляет около 20 тыс. голов.

Полтора десятилетия на Северном бассейне активно осваиваются крабовые ресурсы. Бассейн стал важнейшим районом добычи акклиматизированного здесь камчатского краба, общий допустимый улов (ОДУ) которого сейчас составляет порядка 10 тыс. т, а ранее (в начале промысла) достигал почти 15 тыс. т. Вылов краба-стригуна опилио составляет 4–9 тыс. т в открытой части Баренцева моря и 1,6 тыс. т в ИЭЗ РФ. В Карском море также обнаружены значительные запасы опилио, но в основном это пока непромысловые особи. Запасы краба-стригуна опилио обнаружены также и на востоке АЗРФ — в Чукотском море.

Следует подчеркнуть, что в отличие от Карского, Баренцева и Белого морей, моря восточного сектора Арктики по ряду причин, в том числе и из-за более суровых климатических условий, исследованы в меньшей степени. Наиболее изученным водоемом тихоокеанского сектора является Чукотское море, где еще в 70-е годы был организован экспедиционный промысел сайки с использованием крупнотоннажных траулеров. До последнего времени по восточным северным морям имелись только отрывочные сведения, и лишь начиная с 2015 г., благодаря исследованиям ученых ТИНРО-Центра (Глебов и др., 2016а, 2016б) и довольно успешно проведенной в 2019 г. при перегоне научного судна из Владивостока в Мурманск трансарктической экспедиции ВНИРО (Орлов и др., 2019, 2020а, 2020б, 2020в), были получены интересные, во многом обнадеживающие материалы. Так, установленный экспедицией ТИНРО-Центра видовой состав (список) морских рыб моря Лаптевых расширился с 31 до 49 видов, а включая полупроходных и пресноводных — до 72 видов. По видовому составу ихтиофауны море Лаптевых значительно превосходит соседнее Восточно-Сибирское (54 вида) и уступает расположенным западнее Карскому (88 видов) и Белому (81 вид) морям. Основу скоплений, или более 98% биомассы донного ихтиоцена, оцененного в 131,6 тыс. т, формировала сайка средних размеров (9–15 см), распределяющаяся в пелагиали от дна до приповерхностных горизонтов. Из остальных представителей ихтиофауны моря Лаптевых следует отметить нахождение на материковом склоне черно-

Таблица 2. Добыча (вылов) основных видов водных биоресурсов российскими пользователями в Арктике по данным статистических отчетов (2018–2020), тыс. т
Table 2. The catch of the major species of aquatic biological resources by Russian users in the Arctic according to statistical reports (2018–2020), thousand tons

Виды водных биоресурсов	Годы		
	2018	2019	2020
Сельди	0,03	0,08	0,03
Окунь морской	0,14	0,00	0,00
Камбалы	1,69	0,14	0,59
Палтусы	10,84	10,38	10,68
Навага	0,12	0,05	0,01
Пикша	90,08	76,23	88,62
Сайда	0,30	0,04	0,01
Налим	0,11	0,02	0,03
Треска	338,86	319,01	311,59
Мойва	65,92	0,004	0,002
Корюшки	0,06	0,01	0,00
Горбуша	0,002	0,12	0,001
Семга	0,01	0,01	0,01
Зубатки	4,30	0,21	0,22
Скаты	0,32	0,17	0,17
Краб камчатский	9,21	9,91	10,90
Краб-стригун опилио	9,73	9,82	13,24
Креветка северная	2,51	1,07	0,001
Фукусы	0,22	0,16	0,33

го палтуса и клюворылого окуня. На обследованном полигоне Восточно-Сибирского моря, при учтенной биомассе 695 т, в составе ихтиоцена также доминировала сайка (60,7%).

Согласно результатам трансарктической экспедиции ВНИРО (Орлов и др., 2020в), основу уловов в арктических морях составляли представители сем. Cottidae, Zoarcidae, Liparidae, Gadidae, Pleuronectidae и Agonidae. Сайка доминировала на всей акватории исследований, за исключением Чукотского моря, где биомасса минтая по сравнению с предыдущими годами выросла многократно. В море Лаптевых значительно увеличилась численность черного палтуса. В Чукотском море биомасса сайки составила 117 тыс. т, палтусовидной камбалы — 43 тыс. т, минтая — 897 тыс. т, краба-стригуна опилио — 51 тыс. т. В Карском море общая биомасса сайки составила 171 тыс. т, краба-стригуна опилио — 67 тыс. т.

Почти все основные рыбные запасы бассейна Восточно-Сибирского моря, как и моря Чукотского, сосредоточены в крупных реках (Индигирка, Колыма, Алазея и др.), устьевых областях рек и заливах-эстуариях, а также в опресненной прибрежной зоне открытого шельфа: проходные и полупроходные рыбы (сибирский осетр, нельма, сибирская ряпушка, арктический, или ледовитоморский, омуль, муксун, чир, сиг-пыжьян, пелядь, азиатская корюшка и др.). По официальной статистике, общий вылов рыб в бассейне р. Индигирки за 5 лет (с 1996 г. по 2000 г.) составил 580,8 т, в том числе ценных видов проходных и полупроходных рыб — 506,5 т, или 87,2% от общего улова.

Морская добыча рыб в Восточно-Сибирском и Чукотском морях в настоящее время не ведется, в основном по экономическим причинам. Вылавливается только сайка, как прилов при добыче других видов рыб при ее подходах в прибрежную зону.

По данным Россельхознадзора по Чукотскому АО, в Чукотском море в зоне шельфа обитают следующие виды морских рыб: сайка, дальневосточная навага, тихоокеанская сельдь и минтай (в южной части моря встречается только молодь длиной до 20 см, заносимая течением из Берингова моря). Данные о рыбных запасах приводятся только для сайки. Максимальные концентрации сайки находятся в южной части Чукотского моря. Ее биомасса на площади 134,1 тыс. км² составила около 581 тыс. т. Сайка играет большую роль в структуре и функционировании морской экосистемы, местами образуя значительные скопления как в северных, так и в южных районах моря Лаптевых, а также Карском, Восточно-Сибирском и Чукотском морях.

Осетр сибирский (*Acipenser baeri*) обитает в бассейнах рек Оби, Енисея, Колымы, Лены, Индигирки. Достигает длины около 3 м и массы 200 кг. Это самая крупная рыба в водоемах Красноярского края и Якутии. В Енисее осетр представлен двумя формами: жилой и проходной (Михалев, 1967). Осетр — ценный промысловый вид. В 50-е годы XX в. в бассейне Енисея добывали до 400 т осетра. Вследствие интенсивного промысла, браконьерства и ухудшения среды обитания (гидростроительство, загрязнение и др.) запасы осетра были подорваны, численность его резко сократилась. Несмотря на периодически вводимые запреты на отлов осетра, ситуация не улучшилась. Популяция в значительной мере может поддерживаться благодаря рыбоводным мероприятиям.

Арктический омуль (*Coregonus autumnalis*). Распространен в реках бассейна Северного Ледовитого океана от р. Мезени (впадает в Мезенский залив Белого моря) до Чаунской губы Восточно-Сибирского моря. Относится к полупроходным видам. Нагул омуля происходит в прибрежных морских акваториях. Предпочитает участки с соленостью до 5–10‰ (Криницын, 1989). Из всех сиговых это наиболее северный вид, выдерживает соленость от 20–22% и выше. Омуль арктический — важный промысловый вид Енисея. Запасы омуля в настоящее время находятся в удовлетворительном состоянии. Вылов омуля в последние годы составляет около 140 т в год. Ленская популяция омуля занимает южную часть шельфа моря Лаптевых от западных участков Оленекского залива до восточного побережья губы Буор-Хая.

Муксун (*Coregonus muksun*). Основной ареал вида в реках бассейна Северного Ледовитого океана простирается от р. Кары на западе до р. Колымы на востоке (Аннотированный каталог.., 1998). Полупроходной вид, но в Норильских озерах образует озерную (жилую) форму. Нагуливается и зимует в морских заливах и губах. Муксун — одна из самых длиннопикловых рыб среди полупроходных сиговых и, кроме того, имеет относительно невысокую плодовитость, что в совокупности делает его популяцию особенно уязвимой для промысла. Созревает в возрасте 6–7 лет в Оби, в возрасте 11–14 лет — в Лене и Анабаре (Атлас пресноводных рыб.., 2002). Муксун — ценная промысловая рыба. Запасы его почти везде, кроме ленской популяции, сильно подорваны, нуждаются в охране и воспроизводстве. Вид весьма перспективен для искусственного воспроизводства. По сравнению с сигом отличается в 3 раза большей средней массой производителей и более чем в 2 раза высокой плодовитостью самок. Выход продукции всех

подращенных ранних стадий развития муксуна на одну самку намного выше, чем у сига и чира.

Сиг-пыжьян, сибирский сиг (*Coregonus pidshian*). В настоящее время считается подвидом обыкновенного сига (*C. lavaretus pidshian*). Вид подразделяется на множество подвидов, которые образуют множество экологических форм. Распространен циркумполярно, встречается повсеместно (Атлас пресноводных рыб.., 2002). Озерно-речная, озерная и речная рыба. Ценный промысловый вид, численность его повсеместно сокращается; во многих озерах снижается разнообразие экологических форм. В Енисее добывается около 160 т.

Чир (*Coregonus nasus*). Обитает главным образом за Полярным кругом, встречается во всех реках — от р. Волонги в Чешской губе до Чукотки и Аляски, обитает также в р. Пенжина (северо-восток Охотского моря) и в р. Анадырь (северо-запад Берингова моря). Речная и озерно-речная рыба. Выходит в опресненные воды заливов-эстуариев, избегая вод морской солености. В протяженной с юга на север Обской губе Карского моря распространяется в опресненных водах примерно до середины губы (Матковский, Степанов, 2000). На юге моря Лаптевых встречается в солоноватых водах дельты и авандельты р. Лены. Постоянно обитает преимущественно в реках. Важный объект промысла.

Нельма (*Stenodus leucichthys nelma*). Распространена от Белого и Печорского моря до Анадыря в России и до Юкона и Маккензи в Северной Америке (Решетников, 1980; Атлас пресноводных рыб.., 2002). Основными местами ее обитания являются низовья и дельты рек, южные опресненные части заливов и опресненные воды открытого шельфа арктических морей. В некоторых озерах и реках обитают жилые формы. В р. Колыма этот вид обитает до среднего ее течения (Копосов, Смирнов, 2017). Крупная рыба с максимальной длиной тела до 120 см и массой 20 кг. В настоящее время промысловое значение нельмы невелико. Среди популяций рек, впадающих в наши арктические моря, только в р. Лене популяция нельмы находится в удовлетворительном состоянии. Но и в этой реке запасы нельмы незначительны, и оптимальной мерой по увеличению численности ленской популяции могло бы стать искусственное разведение нельмы.

Сибирская ряпушка (*Coregonus sardinella*). Речной вид, распространен от Печоры на западе до Берингова моря и Аляски, имеется в Анадыре, Амгуэме и в озерах Чукотки (Решетников, 1980; Черешнев, 1996). Редко живет в озерах, встречается в морских водах при солености до 28‰ и выше (Атлас пресноводных рыб.., 2002). Наряду с проходной ряпушкой, известны и озерные формы не только в речных системах, но и на некоторых островах (Колгуев, Новосибирские о-ва). Ценный промысловый вид, часто занимает первое место по вылову среди сиговых рыб.

Пелядь (*Coregonus peled*). Распространена в озерах и реках от Мезени до Колымы. Имеются формы речные, озерно-речные и типично озерные, последняя может подразделяться на обычную и тугорослую («карликовую»). Подвидов нет. Ценный промысловый вид, часто используется в аквакультуре (Аннотированный каталог.., 1998). Летом пелядь выходит в устьевые области рек и опресненные воды заливов-эстуариев, где нагуливается в прибрежной зоне. В открытые морские воды обычно не выходит.

Азиатская корюшка (*Osmerus mordax dentex*). Полупроходная рыба: летом держится преимущественно в прибрежной зоне, зимой входит в реки для нереста. Проходная форма населяет побережья и бассейны Белого и Баренцева морей, на восток через Берингов пролив до п-ова Корея по азиатскому побережью и Аляскинского залива — по американскому (Аннотированный каталог.., 1998). Запасы корюшки значительны в Белом море, Чешской, Байдарацкой, Обской, Тазовской, Гыданской губах, в Енисейском, Пясинском, Хатангском заливах и, по-видимому, около устьев Лены, а также по побережью Чукотки, Камчатки и Охотского моря. Добыча корюшки в большинстве районов имеет сезонный характер, ловят ее весной в период нерестовых миграций (в марте–июне). Возможен лов и в осенне-зимний период (в октябре–феврале). Вылов может быть значительно увеличен.

Тихоокеанская, восточная сельдь (*Clupea pallasii pallasii*). Морская рыба, хотя имеются и озерные группировки (расы). Распространена вдоль всего азиатского побережья от Карского моря до Японского моря включительно. Водится и в озерах (Нерпичье, Вилючинское на Камчатке). Во время исследований Трансарктической экспедиции ВНИРО в 2019 г. биомасса сельди в Карском море была оценена величиной более 200 тыс. т (Орлов и др., 2020в).

Морские млекопитающие

Кольчатая нерпа или **акиба** (*Pusa hispida*) — самый многочисленный вид среди ледовых форм тюленей. Вид широко распространен в акватории Берингова, Чукотского, Восточно-Сибирского морей. Скопления образует в репродуктивный период, период весенней линьки, трофических миграций и нагула на скоплениях нерестовых рыб (мойва, сельдь, лососи). По данным из литературных источников,

численность акибы в Восточно-Сибирском море составляет примерно 90 тыс. особей, а плотность зверей — около 0,10 особей на 1 км² водной поверхности (Огнетов и др., 2003).

Крылатка или **полосатый тюлень** (*Histriophoca fasciata*) из-за тяжелой ледовой обстановки и отсутствия стаций для обитания практически не встречается в Восточно-Сибирском море. По последним данным, к промыслу в Чукотском море рекомендуется 1300 голов (Загребельный и др., 2021).

Лахтак (*Erignathus barbatus*) обитает преимущественно в шельфовой зоне арктических морей на льдах толщиной не более 60 см (Fedoseev, 2000). Ввиду того, что животное является исключительно бентофагом, места обитания лахтака ограничены изобатой 200 м. С учетом предосторожного подхода к промыслу в российской части Чукотского моря предлагается 3600 голов (Загребельный и др., 2021).

Пятнистый тюлень (ларга) (*Phoca vitulina largha*) в Восточно-Сибирском море из-за тяжелой ледовой обстановки встречается изредка в виде заходов из Чукотского моря. Заселяет шельфовую зону, в зимний период со льдами может оказаться в глубоководных районах. Судя по литературным источникам, в годы с малой ледовитостью Восточно-Сибирского моря отдельные тюлени совершают дальние заходы вдоль якутского побережья вплоть до устья р. Индигирки (Рутилевский, 1962). По последним данным, к промыслу в российской части Берингова моря предлагается 4000, а в российской части Чукотского моря — 1500 голов ларги (Загребельный и др., 2021).

Морж (*Odobenus rosmarus*) — самый многочисленный из обитающих здесь ластоногих. Моржи держатся у кромки льдов и предпочитают выползать на отдых на льдины до тех пор, пока они есть в акватории. Но при исчезновении льдов вблизи наиболее кормных мелководных участков моржи подходят к островам и формируют на определенных косах крупнейшие в Чукотском море береговые лежбища. Одновременно на береговых лежбищах моржей на острове Врангеля регистрировали в общей сложности до 70–80 тыс. животных, а с учетом плавающих в воде зверей здесь собиралось до 130 тыс. моржей. На зимовку моржи мигрируют в Берингово море. Современные данные о численности популяции моржей в этом районе фрагментарны и относятся в основном к акватории, прилегающей к о. Врангеля. На начало–середину 1990-х годов численность моржей на береговых лежбищах о-вов Врангеля и Геральд колебалась от 113 тыс. в 1990 г. до 21 тыс. особей в 1993 г. (Кочнев, 1999). В период с 2004 г. по 2011 г. максимальная численность популяции о. Врангеля колебалась от 12 000 (2007 г.) до 300 животных (2009 г.). В 2011 г. отмечали 1200 моржей на побережье острова (Овсянников, Менюшина, 2012). Среднегодовая добыча предприятиями Чукотского АО за десять лет суммарно по всем районам промысла составила порядка 1 тыс. особей. В связи с их слабым освоением, квоты на тихоокеанского моржа предложено оставить на прежнем уровне — 1496 моржей (Загребельный и др., 2021).

Белуха (*Delphinapterus leucas*) в Восточно-Сибирское море заходит достаточно регулярно, однако количество животных ограничено, и возможно, эту часть Арктики посещают лишь самцовые группы. Пребывание белух в восточной части Восточно-Сибирского моря — результат перемещения животных из Чукотского моря, по-видимому, численность стада не превышает 300–500 особей. Животные находятся здесь с августа по октябрь, когда морская акватория свободна ото льда. Белуха постоянно встречается у юго-западного побережья моря Лаптевых, отмечена у западных берегов островов Ляховский и Котельный (Тяптиргянов и др., 2000). По всей вероятности, в море Лаптевых обитает отдельная, сравнительно небольшая популяция белух. В летнее время животные осваивают южное и западное побережья моря Лаптевых. Распространение связано с прибрежной мелководной зоной. Охотники и рыбаки неоднократно отмечали заходы белух в устья Оленекской и Большой Туматской проток (Гладышева, Якшина, 2021). Обитая в водах близ Новосибирских островов, белуха иногда появляется в близких к ним районах Восточно-Сибирского моря. Поздней осенью звери отходят от берегов в центральную часть моря, где и зимуют в разводьях.

Арктика является экологически хрупким регионом, где воздействия антропогенной активности часто носят необратимый характер. Поэтому вопросы экологической безопасности являются приоритетными при разработке государственных стратегий развития данного региона. В последнее время весьма актуальным стал вопрос загрязнения синтетическими продуктами, среди которых особое место занимает микропластик. Вследствие своих физико-химических свойств он может попадать в трофическую систему, что увеличивает опасность его попадания в организм человека. В этой связи одной из научных задач Трансарктической экспедиции ВНИРО на НИС «Профессор Леванидов», состоявшейся в августе–сентябре 2019 года, было проведение исследования содержания микропластика в водах Арктических морей (Педченко, Блиновская, 2020).

Синтетические частицы были обнаружены в 9 из 39 отобранных проб. При этом наибольшее количество

микропластика идентифицировано в Чукотском море: в южной (на 3 станциях) и северо-западной (на 1 станции) его частях. Остальные образцы были получены в центральной (1 станция) и южной (1 станция) частях Восточно-Сибирского моря и в юго-западной части (3 станции) Карского моря. Максимальное количество частиц в пробе составило 6 единиц. Установлено, что в структуре найденного в толще воды пластика доминирует поливинил: 6 из 12 выделенных образцов. Данный вид пластика встречен в Чукотском, Восточно-Сибирском и Карском морях. Две элемента, идентифицированные как полипропилен, обнаружены в южной части Чукотского моря. Кусочки полиэтилена (две единицы) найдены в центральной части Восточно-Сибирского и юго-западной части Карского морей. В юго-восточной части Восточно-Сибирского и юго-западной части Карского морей выявлено по одной частице полистирена. Другими авторами также показано, что наиболее свободными от микропластика являются Восточно-Сибирское море и море Лаптевых (Ершова и др., 2021). В таблице 3 представлены характеристики и география распределения частиц микропластика в Арктических морях.

В 2020 г. вся общественность страны была крайне обеспокоена в связи с произошедшим аварийным сливом нефтепродуктов на одном из предприятий группы компаний «Норильский никель», повлекшим небывалое загрязнение и огромный ущерб окружающей среде, прежде всего водным биологическим ресурсам. После судебных разбирательств «НТЭК» («Норильско-Таймырская энергетическая компания», входит в группу компаний «Норильский никель») произвела все необходимые выплаты в размере 146,2 млрд рублей в счет возмещения вреда, причиненного окружающей среде в результате инцидента с разливом дизельного топлива 29 мая 2020 г. на ТЭЦ-3 в районе Кайеркан г. Норильска. Большая часть средств, а именно 145,493 млрд рублей, была направлена в федеральный бюджет. Муниципальному образованию города Норильска на возмещение вреда почвам НТЭК выплатила 684,9 млн рублей.

Хорошо, что ущерб был возмещен, однако по существующему законодательству не предусмотрено обязательное направление полученных в качестве компенсации средств на натуральное возмещение нанесенного ущерба. Причем в отличие от планируемой деятельности, когда ущерб должен быть компенсирован заранее и исключительно в натуральном выражении. Необходимо обратить на это внимание ответственных государственных органов и принять меры по законодательному исправлению ситуации. Хотя бы для Арктической зоны, являющейся исключительно уязвимой к антропогенным воздействиям. И именно здесь нужна компенсация исключительно либо в натуральном выражении, либо в виде капитальных затрат на строительство объектов для искусственного воспроизводства водных биоресурсов.

Еще к вопросу о компенсации. Даже при жестких требованиях законодательства находятся «пути», когда мероприятия по предотвращению ущерба либо закрываются менее ценными видами, состояние популяций которых не требует дополнительных вложений, либо ущерб компенсируется недостаточно проработанными вместо искусственного воспроизводства мелиоративными мероприятиями. Например, при компенсации дноуглубительных работ при строительстве порта Сабетта основная часть компенсируемой молоди была представлена не муксуном и осетром, а пелядью, состояние запасов которой в Обь-Иртышском бассейне, в отличие от вышеуказанных видов, абсолютно не вызывает опасений. Кроме того, сама технология искусственного воспроизводства вызывает много вопросов и сомнений в ее эффективности. Считаем, что именно при таких обстоятельствах необходим серьезный общественный контроль за проводимыми компенсационными мероприятиями и программами, их обосновывающими. Тем более, что наука движется вперед и имеются методики оценки численности молоди, как с помощью гидроакустических методов, так и с помощью контроля за состоянием численности ос-

Таблица 3. Сведения о встречаемости и характеристиках микропластика в морях Арктики по результатам трансарктической экспедиции ВНИРО в августе–сентябре 2019 г. (Педченко, Блиновская, 2020)
Table 3. Information about the occurrence and characteristics of microplastics in the seas of the Arctic based on the data of the transarctic expedition of VNIRO in August–September 2019 (Педченко, Блиновская, 2020)

Номер	Район обнаружения	Масса, г	Состав
4	Юго-восточная часть Чукотского моря	0,00041	Полипропилен
5	Юго-восточная часть Чукотского моря	0,00512	Поливинил
10	Юго-восточная часть Чукотского моря	0,00047	Полипропилен
19	Юго-восточная часть Восточно-Сибирского моря	0,00463	Полистирен
25	Северо-западная часть Чукотского моря	0,00066	Поливинил
27	Центральная часть Восточно-Сибирского моря	0,00452	Поливинил, полиэтилен
37	Юго-западная часть Карского моря	0,00019	Поливинил
38	Юго-западная часть Карского моря	0,00089	Полистирен, поливинил
39	Юго-западная часть Карского моря	0,00615	Полиэтилен, поливинил

новных кормовых объектов. Понятно, что при большом объеме компенсации у нас просто не хватает мощности рыбоводных заводов. Однако тогда лучше идти по другому пути, например, выпускать молодь, где это действительно обосновано, в другие реки Арктического бассейна, пусть даже не в данном субъекте Федерации. Мы же обозначили АЗРФ как отдельный экономический район. Так почему бы не применить к нему и единый подход по компенсационным мероприятиям.

В качестве основных предложений следует выделить необходимость продолжения научно-исследовательских работ по изучению водных биологических ресурсов и состоянию экологии морей Северного Ледовитого океана для повышения эффективности освоения и добычи (вылова), а также осуществление компенсационных мероприятий в Арктической зоне Российской Федерации при условии обязательного общественного контроля.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. 1998. М.: Наука, 220 с.

Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. Т. 1. 2002. М.: Наука, 379 с.

Гладышева М.Ю., Якшина И.А. 2021. Морские млекопитающие Государственного природного заповедника Усть-Ленский и прилегающих акваторий / XI Междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики» (онлайн, 1–5 марта 2021 г.). М.: Совет по морским млекопитающим. С. 33.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б., Слабинский А.М., Борилко О.Ю., Чульчеков Д.Н., Соколов А.С. 2016а. Результаты комплексных исследований в Восточно-Сибирском море в августе 2015 г. // Изв. ТИНРО. Т. 186. С. 81–92.

Глебов И.И., Надточий В.А., Савин А.Б., Слабинский А.М., Борилко О.Ю., Чульчеков Д.Н., Соколов А.С. 2016б. Результаты комплексных биологических исследований в море Лаптевых в августе–сентябре 2015 г. // Изв. ТИНРО. Т. 187. С. 72–88.

Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. 2021. Исследование загрязнения микропластиком морей Российской Арктики и Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика. Т. 11. № 2. С. 164–177.

Загребельный С.В., Кузин А.Е., Гущеров П.С., Чакилев М.В., Корнев С.И., Болтнев А.И. 2021. Ресурсы основных промысловых видов ластоногих в Российской Федерации и их промысел в 2014–2019 гг. / XI Междунар. конф. «Морские млекопитающие Голарктики» (онлайн, 1–5 марта 2021 г.). М.: Совет по морским млекопитающим. С. 41–42.

Копосов А.Е., Смирнов А.А. 2017. Биология нельмы *Stenodus Leucichthys nelma* (*Coregonidae*) среднего течения реки Колыма в границах Магаданской области // Вопр. рыболовства. Т. 18. № 2. С. 163–175.

Кочнев А.А. 1999. Тихоокеанский морж в прибрежных водах о. Врангеля (1991–1994). 1. Численность и распределение в зависимости от гидрологических условий и хищничества белых медведей // Изв. ТИНРО. Т. 126. С. 447–464.

Криницын В.С. 1989. Особенности биологии и распределения промысловых рыб Енисейского залива // Сб. науч. тр. Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Вып. 296: Рыбохозяйственные исследования на водоемах Красноярского края. С. 126–130.

Матковский А.К., Степанов С.И. 2000. Ихтиофауна, миграции и особенности сезонного распределения рыб в Обской губе / Биологические ресурсы прибрежья Российской Арктики: Матер. к симпозиуму. М.: ВНИРО. С. 74–86.

Михалев Ю.Б. 1967. К биологии и регулированию промысла проходного осетра р. Енисея // Рыбы и кормовые ресурсы бассейнов рек и водохранилищ Восточной Сибири. Т. 9. Красноярск: КО СибНИИРХ. С. 104–107.

Овсянников Н.Г., Менюшина И.Е. 2012. Распределение береговых лежбищ моржей (*Odobenus rostmarus*) на о. Врангеля как реакция на хищничество белых медведей (*Ursus maritimus*) // Морские млекопитающие Голарктики: Сб. науч. тр. по матер. 7-й Междунар. конф. М. Т. 2. С. 139–143.

Огнетов Г.Н., Матишов Г.Г., Воронцов А.В. 2003. Кольчатая нерпа арктических морей России: Распределение и оценка запасов. Мурманск: МИП-999. 37 с.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В., Гафицкий С.В., Горбатенко К.М., Горянина С.В., Зубаревич В.Л., Кодрян К.В., Носов М.А., Орлова С.Ю., Педченко А.П., Рыбаков М.О., Соколов А.М., Сомов А.А., Субботин С.Н., Таптыгин М.Ю., Фирсов Ю.Л., Хлебородов А.С., Чикилев В.Г. 2019. Рыбохозяйственные исследования в Чукотском море на НИС «Профессор Леванидов» в августе 2019 г.: некоторые предварительные результаты // Тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 178. С. 206–220.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В., Горбатенко К.М., Горянина С.В., Зубаревич В.Л., Кодрян К.В., Носов М.А., Орлова С.Ю., Педченко А. П., Рыбаков М. О., Соколов А.М. 2020а. Предварительные результаты рыбохозяйственных исследований в Восточно-Сибирском море на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // Тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 179. С. 187–205.

Орлов А.М., Бензик А.Н., Ведищева Е.В., Горбатенко К.М., Горянина С.В., Зубаревич В.Л., Кодрян К.В., Носов М.А., Орлова С.Ю., Педченко А.П., Рыбаков М.О., Соколов А.М. 2020б. Предварительные результаты рыбохозяйственных исследований в море Лаптевых на НИС «Профессор Леванидов» в сентябре 2019 г. // Тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 179. С. 206–225.

Орлов А.М., Савин А.Б., Горбатенко К.М., Бензик А.Н., Морозов Т.Б., Рыбаков М.О., Терентьев Д.А., Ведищева Е.В., Курбанов Ю.К., Носов М.А., Орлова С.Ю. 2020в. Биологические исследования в российских дальневосточных и арктических морях в трансарктической экспедиции ВНИРО // Тр. ВНИРО. Т. 181. С. 102–143.

Педченко А.П., Блиновская Я.Ю. 2020. Трансарктическая экспедиция: результаты исследований микропластика в арктических морях в 2019 г. / XXI Междунар. науч.-практ. конф. МЦНС «Наука и просвещение». С. 203–205.

Решетников Ю.С. 1980. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука. 301 с.

Рутилевский Г.П. 1962. Животный мир Северной Якутии / Северная Якутия. Л.: Тр. Аркт. НИИ. С. 255–273.

Тяптиргянов М., Кириллов А., Кузьмин О. 2000. Биологические ресурсы водоемов Якутии // Илин. № 3 (22). http://ilin-yakutsk.narod.ru/2000-3/70.htm

Указ Президента Российской Федерации от 02 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации».

Указ Президента Российской Федерации от 05 марта 2020 г. № 164 «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года».

Черешнев И.А. 1996. Биологическое разнообразие пресноводной ихтиофауны Северо-Востока России. Владивосток: Дальнаука. 197 с.

Fedoseev G.A. 2000. Population Biology of Ice-Associated Forms of Seals and Their Role in the Nothern Pacific Ecosystems. M.: Center for Russian Environmental Policy. 271 p.

УДК 597.553.2:597-12

СКРИНИНГ МОЛОДИ КИЖУЧА (*ONCORHYNCHUS KISUTCH* WALBAUM) НА ВИЛЮЙСКОМ ЛРЗ НА НАЛИЧИЕ УСЛОВНО-ПАТОГЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ

Валентина Владимировна Гончарова, Елена Александровна Устименко, Галина Дмитриевна Якушева

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, goncharova.v.v@kamniro.ru, ustimenko.e.a@kamniro.ru, iakusheva.g.d@kamniro.ru

Аннотация. В работе представлены результаты бактериологического исследования молоди кижуча с Вилюйского ЛРЗ за 2021 г. Обнаружены условно-патогенные микроорганизмы вида *Ps. fluorescens* и рода *Flavobacterium* на жабрах рыб. Установлен преобладающий рост псевдомонад при исследовании кишечников молоди рыб. Выявлена корреляционная зависимость обсемененности жабр годовиков кижуча и санитарно-микробиологического состояния воды бассейнов.

Ключевые слова: кижуч, аквакультура, бактериальные патогены, микрофлора жабр, микрофлора кишечника, воды бассейнов

SCREENING OF JUVENILE COHO SALMON (*ONCORHYNCHUS KISUTCH* WALBAUM) AT THE VILYUISKIY SALMON HATCHERY FOR THE PRESENCE OF SECONDARY MICROFLORA

Valentina V. Goncharova, Elena A. Ustimenko, Galina G. Yakusheva

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, goncharova.v.v@kamniro.ru, ustimenko.e.a@kamniro.ru, iakusheva.g.d@kamniro.ru

Abstract. This report describes results of bacteriological screening juvenile coho salmon at the Vilyuiskiy salmon hatchery in 2021. Secondary pathogens *Ps. fluorescens* and *Flavobacterium* on the gills and a high prevalence of pseudomonads in the intestines of juvenile fish were revealed. A correlation between the bacterial contamination of coho salmon gills and microbiological state of the pond-water was found.

Keywords: coho salmon, aquaculture, bacterial pathogens, microflora of gills, gut microflora, pond-water microflora

Важной составляющей рыбохозяйственного сектора экономики России является аквакультура, и это направление активно развивается в последнее десятилетие (Концепция развития рыбного хозяйства.., 2003). Один из путей восстановления и поддержания численности популяций ценных пород рыб, в частности лососевых, — искусственное воспроизводство. Интенсивное рыбоводство увеличивает продуктивность рыбных хозяйств, но применение высокой плотности посадки приводит к росту заболеваемости выращиваемых гидробионтов и, как следствие, к экономическим потерям. Скученность рыб, недоброкачественные корма, использование антибиотиков, физические, химические и травматические стрессовые факторы оказывают существенное воздействие на особей в аквакультуре, снижая их сопротивляемость к бактериальным или другим инфекционным агентам (Конев, 1996; Головин, 2004; Устименко, 2006, 2012). Чаще всего бактериальные заболевания рыб вызывают микроорганизмы родов *Aeromonas*, *Pseudomonas* и *Flavobacterium*, относящиеся к условно-патогенным и являющиеся представителями обычной микрофлоры рыб и воды, которые при воздействии стрессовых факторов могут вызывать вспышки болезней (аэромонозов, псевдомонозов, флавобактериозов) (Austin, Austin, 2007). В связи с этим микробиологический скрининг условно-патогенной микрофлоры у молоди рыб при их разведении играет огромную роль для своевременного выявления заболеваний и их профилактики.

Для искусственного воспроизводства популяций тихоокеанских лососей на Камчатке работают пять лососевых рыбоводных заводов (ЛРЗ): Малкинский ЛРЗ, ЛРЗ «Озерки», Паратунский ЛРЗ, Вилюйский ЛРЗ и ЛРЗ «Кеткино».

Вилюйский лососевый рыбоводный завод (ВЛРЗ) основан в 1989 г. на берегу оз. Большой Вилюй (солоноватый водоем, соединяющийся с Тихим океаном притоком длиной в 8 км) (Запорожец, Запорожец, 2011). Водоснабжение завода осуществляется самотеком из трех ручьев и при помощи насосов из скважин. С момента основания завода основным объектом воспроизводства являлась кета (*Oncorhynchus keta*) (Мешкова, 2006). В последние годы на заводе подращивали двухлеток кижуча (*Oncorhynchus kisutch*), а с 2021 г. было принято решение о значительном увеличении количества закладываемой икры при сокращении времени подращивания молоди кижуча с двух лет до одного. В течение ряда лет на ВЛРЗ выявляли бактериальные инфекции молоди рыб, сопровождающиеся выраженным отеком и гиперплазией жабр, иногда с повышенным отходом (Устименко, 2006; Гаврюсева и др., 2017; Рудакова и др., 2019).

Цель работы: выявить условно-патогенную микрофлору у молоди кижуча на ВЛРЗ и определить зависимость между обсемененностью бактериями жабр рыб и санитарно-микробиологическим состоянием воды бассейнов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В период с февраля по август 2021 г. для бактериологических исследований случайным образом были отобраны 205 экз. молоди кижуча, из них 132 экз. сеголеток и 73 экз. годовиков, а также 36 проб воды из бассейнов. Единовременная выборка составляла 15–30 экз. Живых рыб доставляли в лабораторию в течение 3 ч в контейнерах с водой. Для выявления в почках, жабрах, кишечнике рыб и в воде условно-патогенных микроорганизмов, которые могут быть возбудителями бактериальных инфекций в аквакультуре, использовали классические бактериологические методы исследования.

Рыба. Для определения клинических признаков заболеваний осуществляли внешний осмотр рыб. При патологоанатомическом вскрытии оценивали состояние их внутренних органов (Лабораторный практикум.., 1983).

От каждой особи асептически отбирали образцы почек и жабр, высевали их на триптон-соевый агар (TSA, Serva, Германия) и триптон-солевой агар с дрожжевым экстрактом (TYES) (AFS-FHS.., 2010) соответственно. Посевы инкубировали при 22 °C в течение 24–48 ч.

Однократно, в июне, собрали образцы кишечников (1 мм от анального отверстия до пилорических придатков) от 5 экз. годовиков кижуча в один пул. Пробу измельчали в гомогенизаторе (Bagmixer-400, Франция) 90 сек, затем переносили в питательный бульон (NB-Nutrient Broth, Himedia, Индия) в соотношении 1:9. После помутнения бульона (через 24 ч) делали десятикратные разведения в NB до 10^{-3}. Из разведений 10^{-2} и 10^{-3} по 100 мкл высевали на поверхность плотных питательных сред: TSA, Эндо (Serva, Германия), лактозный агар с тергитолом (ТТХ, Оболенск, Россия), тиосульфат-цитратный агар с сахарозой и желчью (TCBS, Himedia, Индия), питательный агар Lee (Himedia, Индия), модифицированную среду по прописи Мана, Рогоза и Шарпа (MRS, Serva, Германия) и лактобакагар (LA, Оболенск, Россия). С помощью стерильного шпателя Дригальского равномерно распределяли инокулят по поверхности сред. Инкубировали при 24 °C в течение 24–48 ч.

Чистоту культур определяли путем просмотра фиксированного мазка, окрашенного по Граму (Merk, Германия). Определение подвижности выделенных микроорганизмов проводили в полужидкой среде — 0,3% TSA. Идентификацию (биохимическое тестирование) микроорганизмов проводили с использованием тест-систем API 20E (BioMerieux, Франция). Посевы и тест-полоски инкубировали при 22 °C в течение 24 ч.

Вода. Воду отбирали параллельно с отловом молоди в количестве 500 мл на вытоке из бассейнов и исследовали в течение 6 ч. Посев проводили глубинным методом и инкубировали при 27 °C в течение 5 сут. Подсчет общего микробного числа (ОМЧ) проводили с помощью счетчика колоний (Gallen Kamp, Англия). Результат оценивали в соответствии с Методическими указаниями по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов (МУ № 13-4-2/1742).

Проводили сравнение между встречаемостью бактерий на жабрах молоди рыб и ОМЧ воды в бассейнах попарно: сеголетки – вода, годовики – вода. Линейный коэффициент корреляции (r) высчитывали в программе Microsoft Office Excel. Интерпретацию результатов проводили согласно номенклатуре значений коэффициента корреляции, где принято, что если $|r| \leq 0{,}3$ — связь практически отсутствует; $0{,}3 \leq |r| \leq 0{,}5$ — связь слабая; $0{,}5 \leq |r| \leq 0{,}7$ — связь умеренная; $0{,}7 \leq |r| \leq 1{,}0$ — связь сильная (Плохотников, Колков, 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

У обследованных рыб визуальных признаков патологии обнаружено не было. При исследованиях почек рыб роста микроорганизмов на TSA не регистрировали. На TYES агаре наблюдали обильный бактериальный рост с жабр, который складывался из комплекса микроорганизмов, в основном состоящего из сапрофитной флоры и условно-патогенных бактерий, первые из которых в учет результатов данного исследования не вошли. Для дальнейших исследований отбирали два вида культур, характерных для бактерий родов *Pseudomonas* и *Flavobacterium*.

Первые росли в виде слизистых, непрозрачных, выпуклых колоний серовато-белого цвета с образованием желто-зеленого флуоресцирующего пигмента на 2–3 сут. При микроскопировании выявили грамотрицательные палочки, располагающиеся как одиночно, так и хаотично, скоплениями. Тест на подвижность был положительный.

Вторые представляли собой круглые, выпуклые, с ровным краем колонии желтого цвета и полупрозрачным валиком вокруг. В результате микроскопирования выявили грамотрицательные, тонкие, нитевидные палочки, располагающиеся одиночно, хаотично. Тест на подвижность отрицательный.

Обе бактериальные культуры окисляли глюкозу аэробно, по отношению к оксидазе и каталазе были положительны. По результатам биохимического тестирования выделенные микроорганизмы отнесли к псевдомонадам (вид *Pseudomonas fluorescens*) и к флавобактериям (род *Flavobacterium*) соответственно.

В результате анализа данных по бактериальной обсемененности жабр сеголеток кижуча видно, что максимальная встречаемость *Ps. fluorescens* приходилась на июнь (60%), а минимальная — на апрель (6,7%). В мае и июле численность данных бактерий была в пределах 41,7 и 20% соответственно. Обсемененность жабр бактериями рода *Flavobacterium* в мае снижалась до нуля, а максимального пика (100%) достигала в июне. По данным рыбоводов, в этом месяце на заводе отмечали повышенный отход сеголеток кижуча. На довольно высоком уровне (от 40 до 66,7%) была встречаемость флавобактерий у рыб в апреле и июле (рис. 1).

У годовиков кижуча контаминация жабр бактериями рода *Flavobacterium* была максимальной в июне (100%), а в мае их не обнаружили, также как и у сеголеток в этот период. В то время как в феврале, апреле и августе заселенность флавобактериями жабр была примерно на одном уровне: 56,7, 36,7 и 41,7% соответственно. Что касается псевдомонад, то их изолировали с жабр годовиков во время всего периода исследований, кроме апреля. Максимальную их численность зарегистрировали в августе и феврале (75 и 70%), в мае и июне *Ps. fluorescens* на жабрах рыб было примерно вдвое меньше (рис. 2).

В посевах из кишечников годовиков кижуча на всех примененных питательных средах, кроме агаров для лактобактерий MRS и LA, выявили *Ps. fluorescens*, которые значительно доминировали над сопутствующей микрофлорой. Показатель численности этих бактерий составил в среднем $7{,}5 \times 10^4$ КОЕ/г. Возможно, что активное размножение данных условно-патогенных бактерий подавляло лактобактерий в микробиоте кишечника рыб, поскольку последние не были обнаружены в пробах. Лактобактерии положительно влияют на организм хозяина благодаря антагонистической активности в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, обладают адгезивными свойствами к эпителиальным клеткам кишечника, что ведет к конкуренции с нежелательной микрофлорой за существование, усиливают пищевую

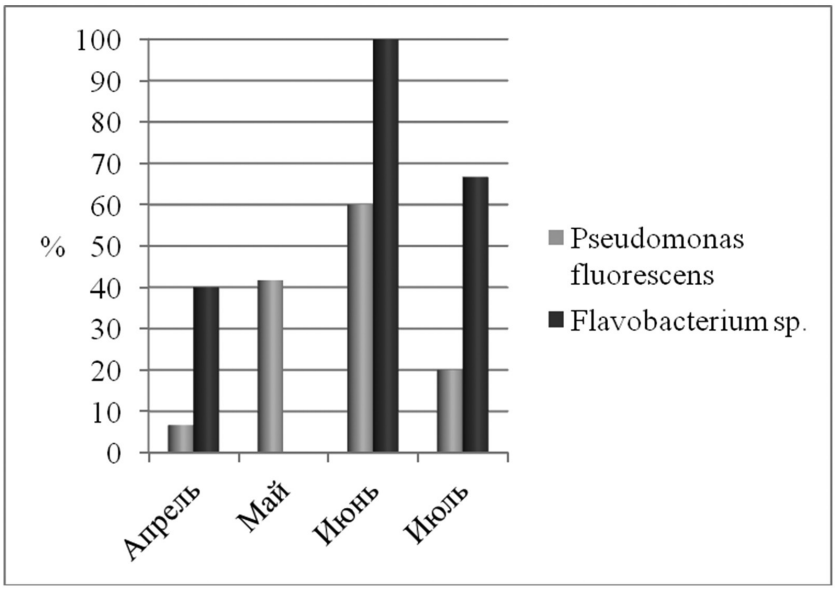

Рис. 1. Встречаемость условно-патогенной флоры в жабрах у сеголеток кижуча, %
Fig. 1. Occurrence of secondary pathogenic flora in the gills of coho salmon underyearlings, %

и моторную функции ЖКТ (Яруллина, Фахруллин, 2014). Но бактерии рода *Pseudomonas* довольно устойчивы к агрессивным факторам внешней среды, а также угнетают рост других штаммов бактерий за счет своей антимикробной активности (Паршуков, Сидорова, 2014; Rosado et al., 2019). Нарушение баланса между патогенной и «полезной» микрофлорой кишечника рыб может привести к сбою иммунной системы хозяина, а впоследствии и к возникновению заболеваний (He et al., 2017; Minich et al., 2020). При таких обстоятельствах важно обладать полной информацией о состоянии организма гидробионта, окружающей его среды, лимитирующих факторах и их взаимосвязях.

Значения ОМЧ воды в бассейнах с сеголетками были максимальными в апреле — 1×10^3 КОЕ/мл, а с годовиками в июне — $1{,}8 \times 10^2$ КОЕ/мл. В целом, в весенне-летний период ОМЧ воды бассейнов с сеголетками варьировало в пределах от $0{,}9 \times 10^2$ до $6{,}9 \times 10^2$ КОЕ/мл, у годовиков средние значения были несколько ниже — от $0{,}2 \times 10^2$ до $0{,}8 \times 10^2$ КОЕ/мл. В феврале исследовали воду только из бассейна с годовиками, бактериальная обсемененность которой составила $0{,}3 \times 10^2$ КОЕ/мл. За весь период исследований ОМЧ в воде из всех бассейнов не превышало нормативных значений, только в апреле этот показатель в воде бассейна с сеголетками был на верхней границе нормы (МУ № 13-4-2/1742).

У сеголеток линейной зависимости между зараженностью жабр условно-патогенными бактериями и ОМЧ воды не выявили, т. е. изменения одной из величин не приводили к изменению другой, и причинно-следственной связи не наблюдали. А у годовиков кижуча установили максимальный коэффициент корреляции (0,99) между обсемененностью жабр флавобактериями и ОМЧ воды (рис. 3). Причиной такой сильной связи, возможно, является высокая чувствительность кижуча именно этой возрастной группы к данным микроорганизмам. Бактерии рода *Flavobacterium* вызывают повреждения жаберного

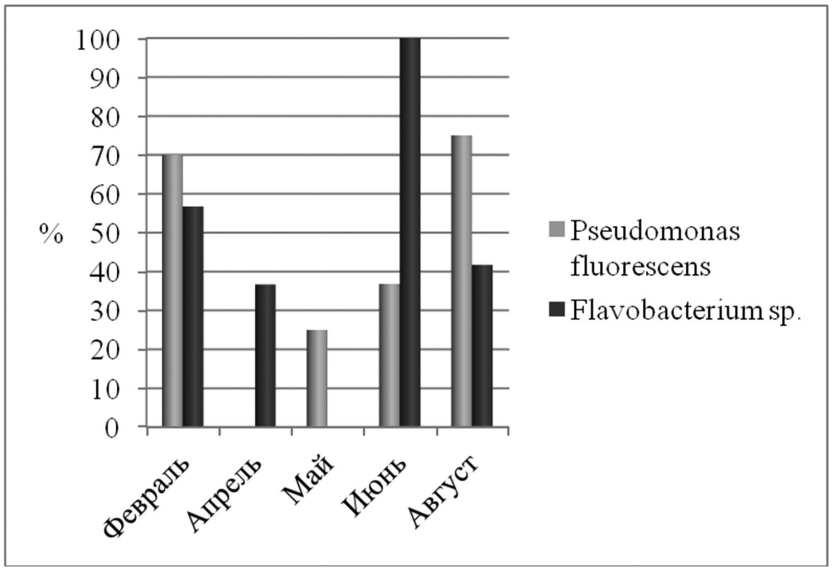

Рис. 2. Встречаемость условно-патогенной флоры в жабрах у годовиков кижуча, %
Fig. 2. Occurrence of secondary pathogenic flora in the gills of coho salmon underyearlings, %

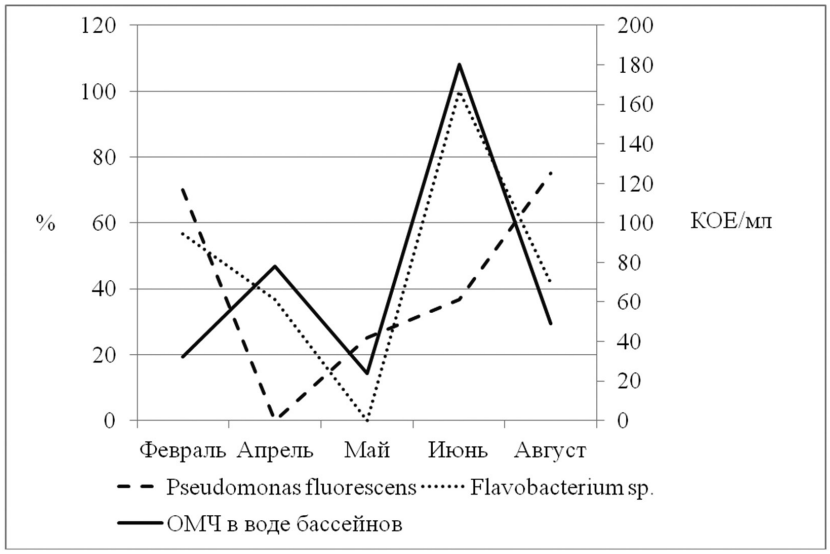

Рис. 3. Сезонная встречаемость бактерий в воде бассейнов (КОЕ/мл) и жабрах годовиков кижуча (%)
Fig. 3. Seasonal occurrence of bacterial microorganisms in pond water (CFU/ml) and in the gills of coho salmon yealings (%)

эпителия, сосудистых тканей жабр, кожи с последующим некрозом подлежащей мускулатуры, возможно развитие некроза и воспаление внутренних органов, а также состояние острой общей септицемии (Бауер и др., 1977; Конев, 1996; Cipriano, Holt, 2005; Устименко, 2006). Количество псевдомонад на жабрах годовиков, напротив, не зависело от числа бактерий в воде.

Как правило, на рыбоводных заводах относительно стабильный состав и соотношение бактерий в воде бассейнов, которые являются совокупностью микроорганизмов водоисточников и кормов. Обычно для жабр и кишечника рыб характерна микрофлора окружающей среды, учитывая, что для поддержания жизнедеятельности рыбам необходимо пропускать через эти органы большое количество воды (Конев, 1996; Ларцева, 2003; Hess et al., 2015; Vatsos, 2016). Но при интенсивной работе рыбоводного предприятия с высокой плотностью подращиваемых рыб возрастает уровень загрязнения воды взвешенными частицами и органическими веществами, что, в свою очередь, создает благоприятные условия для существования и размножения микроорганизмов, в том числе и условно-патогенных (Жезмер и др., 1988; Студеникина и др., 2002; Устименко, 2006; Паршуков, Сидорова, 2014; Minich et al., 2020). Возможные зависимости между количественным и качественным составом бактерий в водоеме и его влиянием на обсемененность органов рыб-хозяев требуют дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При бактериологическом исследовании жабр молоди кижуча разных возрастных групп выявлены условно-патогенные микроорганизмы *Ps. fluorescens* и рода *Flavobacterium*. Максимальное их количество регистрировали на жабрах в июне во время заболевания и повышенной гибели сеголеток кижуча. Результаты общей обсемененности воды бассейнов с сеголетками и годовиками кижуча не показали отклонений от установленных нормативных значений за весь период. В том числе не было зарегистрировано превышения ОМЧ воды при заболевании сеголеток кижуча. При этом проведенный корреляционный анализ показал, что обсемененность жабр годовиков кижуча бактериями рода *Flavobacterium* напрямую связана с ОМЧ в воде бассейнов.

Преобладание псевдомонад *Ps. fluorescens* регистрировали в кишечниках годовиков кижуча, при этом не выявили лактобактерий, которые защищают стенки кишечника от проникновения бактерий и токсинов различного происхождения. Для полного понимания взаимосвязи между выявленным доминирующим видом условно-патогенных бактерий и полезной микрофлорой кишечника рыб, отчасти являющейся первой линией защиты хозяина от инфекционных агентов, необходимы дальнейшие исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бауер О.Н., Мусселиус В.А., Николаева В.М., Стрелков Ю.А. 1977. Ихтиопатология. М.: Пищ. пром-сть. 423 с.

Гаврюсева Т.В., Бочкова Е.В., Рязанова Т.В., Сергеенко Н.В., Устименко Е.А. 2017. Влияние некоторых факторов среды на молодь кижуча *Oncorhynchus kisutch* на Вилюйском ЛРЗ (Камчатка) в 2017 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 45. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 5–13.

Головин П.П. 2004. Проблемы стресса у рыб в пресноводной аквакультуре: способы диагностики и коррекции // Болезни рыб. Сб. науч. тр. ВНИИПРХ. М.: «Спутник+». Вып. 79. С. 54–61.

Жезмер В.Ю., Белякова Н.В., Заливака Л.В. 1988. Энтеробактерии в установках с замкнутым циклом водоснабжения // Болезни рыб. Сб. науч. тр. ВНИИПРХ. Вып. 55. С. 84–88.

Запорожец Г.В., Запорожец О.М. 2011. Лососевые рыбоводные заводы Дальнего Востока в экосистемах Северной Пацифики. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 267 с.

Конев Н.В. 1996. Нормальная микрофлора рыб и ее роль в возникновении бактериальных заболеваний, вызванных стрессом // Науч. тетради. СПб.: ГосНИОРХ. Вып. № 4. 46 с.

Концепция развития рыбного хозяйства Российской Федерации на период до 2020 года. 2003. 18 с.

Лабораторный практикум по болезням рыб. 1983. Под ред. В.А. Мусселиус, В.Ф. Ванятинского, А.А. Вихман. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 296 с.

Ларцева Л.В. 2003. Рыбы и гидробионты — переносчики возбудителей инфекционных болезней человека. Астрахань: КаспНИРХ. 100 с.

Методические указания по санитарно-бактериологической оценке рыбохозяйственных водоемов. 1999. № 13-4-2/1742. 12 с.

Мешкова М.Г. 2006. Естественное и искусственное воспроизводство кижуча (*Oncorhynchus kisutch*) в озере Большой Вилюй (Камчатка). Дис. … канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 154 с.

Паршуков А.Н., Сидорова Н.А. 2014. Микробиоценоз радужной форели в садковых хозяйствах Северной Карелии // Ученые записки Петрозаводского гос. ун-та. № 8. Т. 1. С. 28–33.

Плохотников К.Э., Колков С.В. 2012. Статистика. Уч. пособие. 4-е изд. М.: Флинта. 287 с.

Рудакова С.Л., Устименко Е.А., Сергеенко Н.В., Швецова Д.С., Рязанова Т.В, Бочкова Е.В., Кулемеева И.О. 2019. Результаты комплексного подхода к проблеме повышенного отхода молоди кижуча на Вилюйском ЛРЗ // Матер. IV Нац. науч.-практ. конф. «Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации» (Калининград, 8–10 октября 2019 г.). Саратовский ГАУ. Саратов: Амирит. С. 217–222.

Студеникина Е.И., Толоконникова Л.И., Воловик С.П. 2002. Микробиологические процессы в Азовском море в условиях антропогенного воздействия. М.: Нацрыбресурсы. 168 с.

Устименко Е.А. 2006. Признаки бактериальной жаберной болезни у молоди кижуча на Вилюйском рыбоводном заводе (Камчатка) // Вопр. рыболовства. Т. 7. № 3 (27). С. 436–445.

Устименко Е.А. 2012. Бактериальные инфекции у тихоокеанских лососей при искусственном воспроизводстве на Камчатке: Автореф. … дис. канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 24 с.

Яруллина Д.Р., Фахруллин Р.Ф. 2014. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними. Учеб.-метод. пособие. Казань: Казанский ун-т. 51 с.

AFS-FHS FHS blue book: suggested procedures for the detection and identification of certain finfish and shellfish pathogens. 2010. AFS-FHS (American Fisheries Society-Fish Health Section), Bethesda, Maryland. 352 p.

Austin B., Austin D.A. 2007. Bacterial fish pathogens. Diseases of farmed and wild fish. Chichester: Praxis Publishing. 552 p.

Cipriano R.C., Holt R.A. 2005. *Flavobacterium psychrophilum*, cause of Bacterial cold-water disease and rainbow trout fry syndrome // Fish Disease Leaflet. № 86. WV, Kearneysville: National Fish Health Research Laboratory. 44 p.

He S., Wang Q., Li S., Ran C., Guo X., Zhang Z., Zhou Z. 2017. Antibiotic growth promoter olaquindox increases pathogen susceptibility in fish by inducing gut microbiota dysbiosis. // Sci China Life Sci 60. P. 1–11.

Hess S., Wenger A.S, Ainsworth T.D., Rummer J.L. 2015. Exposure of clownfish larvae to suspended sediment levels found on the Great Barrier Reef: Impacts on gill structure and microbiome // Sci. Rep. № 5. 8 p.

Minich J.J., Poore G.D., Jantawongsri K., Johnston C., Bowie K., Bowman J., Knight R., Nowak B., Allen E.E. 2020. Microbial ecology of Atlantic salmon, *Salmo salar*, hatcheries: impacts of the built environment on fish mucosal microbiota // Applied Environmental Microbiology. № 86 (12). doi: 10.1128/AEM.00411-20

Rosado D., Xavier R., Severino R., Tavares F., Jo Cable J., Perez-Losada M. 2019. Effects of disease, antibiotic treatment and recovery trajectory on the microbiome of farmed seabass (*Dicentrarchus labrax*) // Sci. Rep. № 9. P. 1–11.

Vatsos I.N. 2016. Standardizing the microbiota of fish used in research // Laboratory Animals. № 51 (4). P. 353–364.

УДК 597.556.35:591.8:574(265)

ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У ЗВЕЗДЧАТОЙ КАМБАЛЫ *PLATICHTHYS STELLATUS* АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ

Елизавета Николаевна Кобернюк
Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, kobernukelizaveta@gmail.com

Аннотация. В работе представлены гистологические изменения в органах и тканях у камбалы звездчатой (*Platichthys stellatus*), выловленной в различных точках Авачинской губы. В соответствии с классификацией ICES, у камбалы выявили однотипные гистопатологические изменения, которые соответствовали 0 (норма) и 1 (неопухолевые токсикопатологические поражения) категориям тяжести, что косвенно указывает на благополучное состояние Авачинской губы.
Ключевые слова: гистопатологические изменения, звездчатая камбала, загрязнения

HISTOLOGICAL CHANGES IN THE STARRY FLOUNDER *PLATICHTHYS STELLATUS* OF THE AVACHA BAY

Elizaveta N. Kobernyuk
Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, kobernukelizaveta@gmail.com

Abstract. Histological changes in the starry flounder (*Platichthys stellatus*) from different points of Avacha Bay are described. Based on the ICES classification, the same descrobed types of histopathological changes were found in local starry flounder: corresponding to 0 (normal) and 1 (non-tumor toxicoathological lesions) categories of severity, what is an indirect biological indication of favorable ecological state of the Avacha Bay.
Keywords: histopathological changes, stellate flounder, pollutions

Главной причиной загрязнения Авачинской губы считается антропогенная деятельность (Копылов, Павлова, 1998). Существенную роль в этом играют многочисленные стоки, приносящие в воду большое количество загрязняющих веществ (пестицидов, гербицидов) из различных населенных пунктов Юго-Восточной Камчатки. Помимо этого, в Авачинской губе находятся затонувшие и брошенные ржавые суда. При этом Авачинская губа является местом нагула, миграции лососевых и других видов рыб (Трямкина, Бородина, 2014), которые являются в том числе объектами любительского рыболовства.

Международным советом по исследованию моря ICES были разработаны методы мониторинга и определения биологических эффектов загрязнителей на гидробионтов. Многочисленные исследования показывают, что подходящим биоиндикатором воздействия окружающей среды на живой организм могут быть гистопатологические изменения органов и тканей рыб. Структура органов и тканей способна изменяться даже от незначительного влияния различных патогенных факторов. Изменения в организме гидробионтов позволяют определить токсичность водной среды и сформировать представление о потенциальной опасности загрязнения водоемов для человека. Камбала звездчатая *Platichthys stellatus* является преимущественно донным обитателем, не уходит на большие расстояния, и по состоянию ее органов и тканей можно сделать некоторые выводы по поводу экологической ситуации водоема. Поэтому различные виды камбал часто выбирают как объект изучения биоиндикации (Зимина, 2020).

Цель данной работы — выявить гистологические изменения внутренних органов у камбалы звездчатой (*Platichthys stellatus*), обитающей в акватории Авачинской губы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалами для данных исследований стали пробы органов и тканей камбалы звездчатой (77 экз.), выловленной в разных точках Авачинской губы: в центральной части в 2016 г., в бух. Тихой и у набережной в центре города Петропавловск-Камчатский в 2018 г., на м. Маячном в 2019 г.

Камбалу вскрывали, сначала делая разрез в области анального отверстия, затем до головы и отрезали часть брюшной стенки. Затем отбирали кусочки толщиной не более 0,7 см от жабр, печени, почки и селезенки и помещали их в раствор Дэвидсона для фиксации. Для дальнейшей обработки материала использовали стандартные гистологические методы (Роскин, 1946). Окрашивание готовых препаратов проводили гематоксилин-эозином. Срезы заключали в монтирующую среду "Cytoseal™ 60" и изучали под световым микроскопом "Olympus BH-2", который имеет автоматическое фотографическое устройство.

При классификации гистопатологических изменений в органах и тканях исследуемых рыб использовали методику определения биологических эффектов загрязнителей на гидробионтов ICES (Feist et al., 2004):

0 — норма и очевидно не связанные с загрязнениями;
1 — неопухолевые токсикопатологические поражения;
2 — очаги клеточных изменений (предопухолевые изменения);
3 — доброкачественные новообразования;
4 — злокачественные новообразования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из важнейших гистофизиологических маркеров состояния организма рыб и его реакции на экологическую обстановку являются жабры. Это обусловлено тем, что они напрямую контактируют с водной средой (Селюков и др., 2018). Также хорошим маркером могут быть паренхиматозные органы (печень, почки, селезенка), поскольку они имеют высокую метаболическую активность, удаляют ядовитые вещества эндогенного и экзогенного происхождения (Au, 2004).

У камбал, выловленных в различных точках Авачинской губы, были выявлены различные гистологические изменения в жабрах, печени, почках, селезенке.

Жабры. У исследованных рыб отметили отек жаберных лепестков, который привел к отслоению вторичного эпителия на некоторых участках (рис. 1А). В последнем случае под эпителием происходит увеличение объема транссудата — отечной жидкости, которая скапливается в полости при нарушении кровообращения (Шалгимбаева и др., 2013). Помимо этого наблюдали гиперемию тканей жабр. Она характеризовалась расширенными и переполненными кровью сосудами (рис. 1А). Также была выявлена гиперплазия многослойного (первичного) и респираторного (вторичного) эпителиев (рис. 1Б). Разрастание ткани часто приводило к тому, что филаменты полностью атрофировались. В некоторых случаях пролиферация первичного эпителия в межламеллярных пространствах была причиной того, что филаменты, не разделенные на ламеллы, имели вид сплошных эпителиальных пластинок. При этом капилляры полностью сохранялись.

Картину подобных изменений ранее наблюдали в жабрах морских рыб. Авторы отмечали гиперплазию респираторного эпителия, проявляющуюся на ламеллах в хаотичном порядке (Амплеева, Ложниченко, 2010). Она возникала между некоторыми участками жабр, где эпителий не был подвержен пролиферации. В некоторых случаях разрастания на верхушках ламелл сливались между собой и формировали длинные ленты из разрастающегося дыхательного эпителия. Подобные изменения являются адаптационными проявлениями в ответ на загрязнение водной среды пестицидами, гербицидами и тяжелыми металлами (Амплеева, Ложниченко, 2010).

Печень. Отмечали повышенное количество меланомакрофагальных центров (ММФЦ), образующихся в результате отложения гемосидерина вокруг очагов воспаления в печеночной паренхиме. Гемосидероз — избыточное накопление гемосидерина — является защитной реакцией рыб на воспаления различного происхождения и на воздействие токсинов. Следствием отложения гемосидерина является специфическая окраска пораженных участков в ржаво-коричневый цвет.

В паренхиме печени небольшого числа рыб были найдены личинки анизакид *Anisakis* sp. (рис. 1В). Вокруг них отмечали образование капсул из соединительной ткани и отложение гемосидерина. Образование капсул вокруг личинок — результат реакции организма на воспаление, вызванное паразитом. Обычно при попадании личинок анизакид в печень происходит изменение цвета до бурого, а структура становится более плотной (Грищенко, Васильков, 1999).

В нескольких случаях в паренхиме печени изученных рыб мы также обнаружили неравномерно расширенные сосуды, заполненные плазмой и форменными элементами крови (рис. 1Г). Данное явление принято называть стазом (Гаврилова и др., 2018). В паренхиме печени отмечали гиперемию и изменение окраски в насыщенный красный/розовый цвет (рис. 1Г). Гиперемия паренхимы печени относится

к нарушениям циркулярного типа и свидетельствует об ее интенсивном функционировании. Очень часто гиперемия является одним из первых признаков патологических процессов в органе, но относится к легкому, не угрожающему жизни процессу (Минеев, Минеева, 2019).

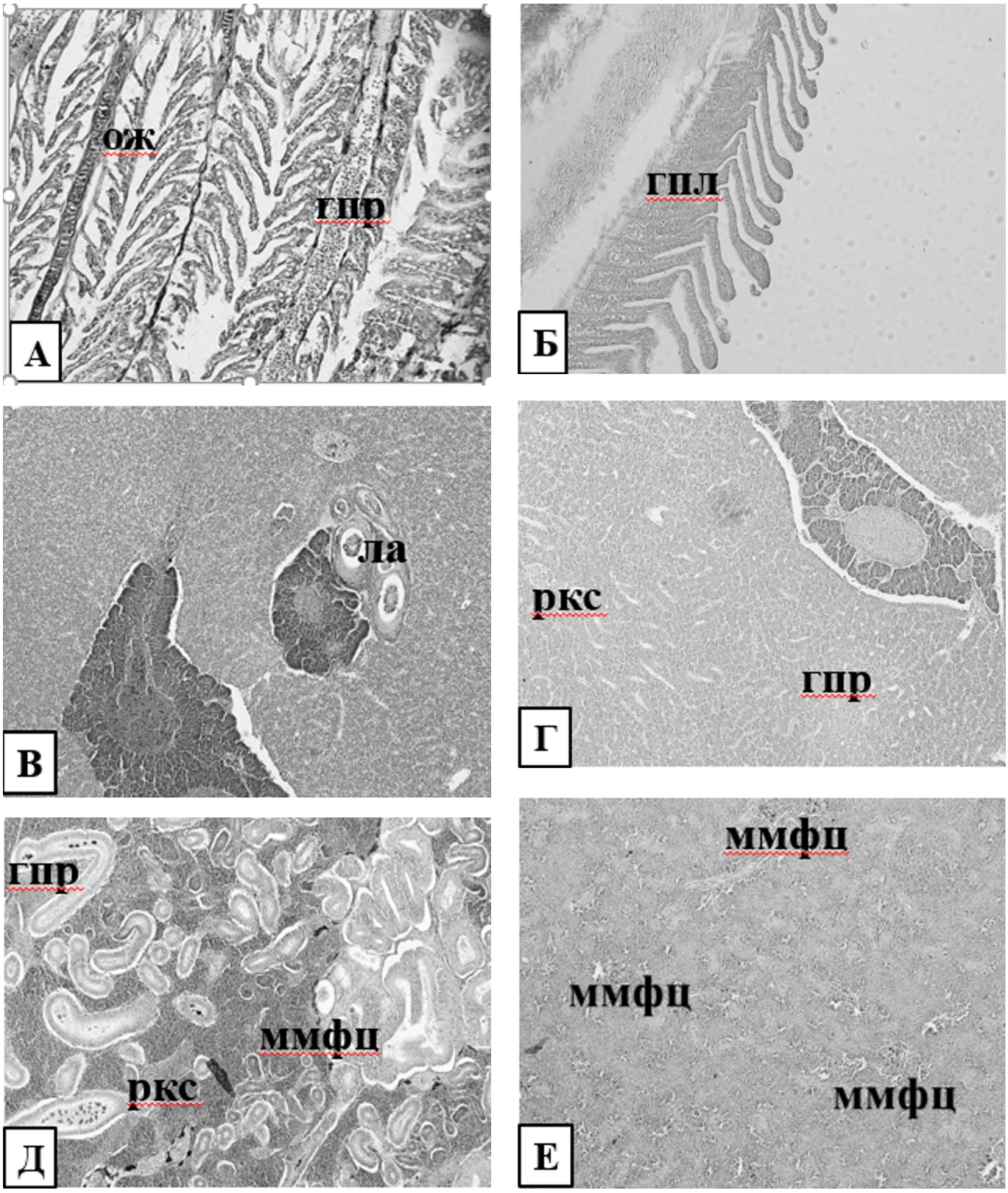

Рис. 1. Гистопатологические изменения органов камбалы звездчатой: А, Б — жабры; В, Г — печень; Д — почка; Е — селезенка. Обозначения: гпл — гиперплазия; гпр — гиперемия; ла — соединительнотканные капсулы вокруг личинок анизакид; ммфц — меланомакрофагальные центры (ММФЦ); ож — отек жаберных лепестков; ркс — расширенные кровеносные сосуды. Увеличение: Д, Е — ×100; А, В, Г — ×200; Б — ×400. Г-Э

Fig. 1. The histopathological changes in the organs of starry flounder: A, B – gills; C, D – liver; D – kidney; E – spleen. Legend: гпл – hyperplasia; гпр – hyperemia; ла – connective tissue capsules around anisakid larvae; ммфц – melano-macrophage centers (MMPhC); ож – gill filament oedema; ркс – dilated blood vessels. Magnification: Д, Е – ×100; А, В, Г – ×200, Б – ×400. Г-Э

Почка. В почках исследованных рыб обнаружили отложение гемосидерина вокруг очагов воспаления (рис. 1Д). Такая картина в паренхиме почки встречается при болезнях системы кроветворения (анемия, гиперемия, лейкоз и т. д.), интоксикациях гемолитическими ядами (хинин, свинец, сульфаниламиды) и при некоторых инфекциях. Пораженный участок приобретает ржаво-коричневый оттенок (Микулич, 2011).

Кроме того, в паренхиме почки регистрировали неравномерно расширенные сосуды, которые, как и в паренхиме печени, были заполнены плазмой и форменными элементами эпителия (рис. 1Д). В паренхиме почки мы обнаружили гиперемию, возникающую, когда в области повреждения происходит поступление большого количества крови (рис. 1Д). Подобное явление можно наблюдать при механических травмах, воздействии кислот и щелочей, инфекциях.

Селезенка. В паренхиме селезенки обнаружили неравномерно расширенные кровеносные сосуды, заполненные плазмой и форменными элементами крови. Сосуды в таких местах были переполнены.

Также в паренхиме селезенки были зарегистрированы ММФЦ, возникшие в результате гемосидероза (рис. 1Е). На месте очага поражения наблюдали ржаво-коричневый пигмент.

По результатам наших исследований выявили неравномерное распределение рыб с различными гистопатологическими изменениями в акватории Авачинской губы (табл. 1).

Наибольшая доля рыб с гиперплазией жаберного эпителия выявлена в бух. Тихой и у Набережной. Реже всего эта патология встречалась у камбал на м. Маячном. Гиперемию и отек жабр чаще регистрировали у молоди рыб в центральной части Авачинской губы. В целом более всего были поражены жабры молоди рыб, что объясняется недостаточными адаптационными свойствами их организма по сравнению со взрослыми особями.

Наиболее широкий спектр изменений в печени выявили у камбал из центральной части Авачинской губы. Расширение кровеносных сосудов печени выявили у рыб во всех точках, а в бух. Тихой и на м. Маячном — у всех особей. Кровоизлияния в паренхиме печени нашли у половины исследованных рыб с м. Маячного. Менее всего печень была поражена у молоди, что можно объяснить непродолжительным действием поллютантов. У взрослых особей, напротив, к более серьезным изменениям в структуре этого органа могло привести более длительное воздействие токсикантов.

По результатам исследования кровеносные сосуды почек рыб из всех точек Авачинской губы были расширены, что указывает на наличие в окружающей среде токсических элементов и, как следствие, реакцию выделительной системы рыб (Фомин, 2002). В целом менее всего почки были поражены у рыб в центральной части Авачинской губы. Это можно объяснить более сильным загрязнением поллютантами прибрежных районов морской акватории.

Селезенка рыб менее всего реагировала на загрязнители, а в центральной части Авачинской губы изменений этого органа у рыб не регистрировали.

Все обнаруженные гистопатологические изменения в органах и тканях камбалы звездчатой отнесли к категории 0 и 1 в соответствии с классификацией ICES.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По встречаемости и характеру гистопатологических изменений в органах и тканях у камбал в разных точках Авачинской губы можно охарактеризовать экологическое состояние акватории.

Таблица 1. Гистологические изменения у камбалы звездчатой, выловленной в различных точках Авачинской губы (кол-во рыб / % от выборки)
Table 1. Histological changes in starry flounder taken in different locations within Avacha Bay

Орган	Гистологические изменения	Точки вылова				
		Центральная часть Авачинской губы		Набережная N = 15	Бух. Тихая N = 11	М. Маячный N = 8
		Молодь N = 10	Взрослые особи N = 33			
Жабры	Гиперплазия	6/60	20/61	12/80	9/82	3/38
	Гиперемия	5/50	6/18	3/20	0/0	0/0
	Отек	2/20	6/18	0/0	0/0	0/0
Печень	Расширенные кровеносные сосуды	8/80	30/91	13/87	11/100	8/100
	Гиперемия	0/0	13/39	0/0	0/0	0/0
	Кровоизлияния	0/0	4/12	5/33	3/27	4/50
	Повышенное количество ММФЦ	0/0	3/9	0/0	0/0	0/0
Почка	Расширенные кровеносные сосуды	10/100	31/94	15/100	11/100	8/100
	Гиперемия	0/0	7/21	2/13	2/18	3/38
	Повышенное количество ММФЦ	1/10	6/18	10/67	7/64	7/88
Селезенка	Расширенные кровеносные сосуды	0/0	0/0	11/73	9/82	6/75
	Гиперемия	0/0	0/0	3/20	2/18	3/38
	Повышенное количество ММФЦ	0/0	0/0	10/67	5/45	7/88

Хоты виды гистологических изменений в органах и тканях рыб были однотипными, частота их встречаемости, их сочетание в разных точках Авачинской губы отличались. Это может косвенно свидетельствовать о разном составе и неравномерном распределении поллютантов в Авачинской губе.

По классификации, принятой международным советом по исследованию моря ICES, все гистопатологические изменения у камбалы звездчатой относятся к категориям 0 (норма) и 1 (неопухолевые токсикопатологические поражения), то есть по международным стандартам состояние Авачинской губы на сегодня можно считать сравнительно благополучным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Амплеева А.В., Ложниченко О.В. 2010. Патологические изменения почек и жабр белорыбицы Волго-Каспийского бассейна // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. № 2. 165 с.

Гаврилова Д.А., Грушко М.П., Федорова Н.Н. 2018. Гистопатологические изменения органов кефали бассейна Каспийского моря // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. № 4 (40). С. 43–37.

Грищенко Л.И., Васильков Г.В. 1999. Болезни рыб и основы рыбоводства. М.: Колос. 456 с.

Зимина Т. 2020. О чем рассказала темная камбала // Наука и жизнь. № 2. 50 с.

Копылов Б.И., Павлова В.П. 1998. Экология Авачинской губы: источники загрязнения, проблемы, решения, перспективы / Сб. науч. ст. по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. Петропавловск-Камчатский: Госкомкамчатэкология. С. 11–18.

Микулич Е.Л. 2011. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Ихтиопатология». Горки: Белорус. гос. сельскохоз. академия. 230 с.

Минеев А.К., Минеева О.В. 2019. Гистопатологии печени у рыб Саратовского водохранилища // Теоретическая и прикладная экология. № 3. С. 114–119.

Роскин Г.И. 1946. Микроскопическая техника. М.: Советская наука. 328 с.

Селюков А.Г., Чернов В.С., Жуков Г.В., Шуман Л.А., Аникеева А.С. 2018. Гистопатологические изменения жаберного аппарата черноморской скорпены *Scorpaena porcus* как индикатора состояния прибрежных морских вод / Загрязнение морской среды: экологический мониторинг, биоиндикация, нормирование: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 125-летию проф. В.А. Водяницкого (Севастополь, 28 мая – 1 июня 2018 г.). С. 228–232.

Трямкина Е.А., Бородина В.В. 2014. Экологические проблемы Авачинской бухты // Успехи современного естествознания. № 8. С. 79–80.

Фомин И.В. 2002. Функциональные изменения в выделительной системе карповых рыб при отравлении кадмием и нефтью / В сб. «XXI век — перспективы развития рыбохозяйственной науки». Спб.: Наука. С. 82–85.

Шалгимбаева С.М., Джумаханова Г.Б., Куликов Е.В., Асылбекова С.Ж. 2013. Сравнительная характеристика гистологических изменений в жабрах некоторых видов рыб отрядов Cypriniformes и Perciformes озера Зайсан. Казахстан. 8 с.

Au D.W.T. 2004. The application of histo-cytopathological biomarkers in marine pollution monitoring: a review // Marine Pollution Bulletin. Vol. 48, iss. 9–10. P. 817–834.

Feist S.W., Lang T., Stentiford G.D., Kohler A. 2004. Biological effects of cotaminants: Use of liver pathology of the European flatfish dab (*Limanda limanda* L.) and floundeder (*Platichtys flesus* L.) for monitoring // ICES Techniques in Marine Environmental Sciences; № 38. Copenhagen. 42 p.

УДК 579.2/5:576.89:591.69

РЕЗУЛЬТАТЫ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ РЕКИ ОБЬ В ГРАНИЦАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2021 Г.)

Георгий Анатольевич Романенко[1,2], Ирина Юрьевна Теряева[1], Сергей Александрович Осипов[1], Денис Григорьевич Елизарьев[1]

[1]Алтайский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АлтайНИРО), Барнаул, Россия, ihtiolog_alt@vk.com, geo403@yandex.ru, teryaeva_altainiro@mail.ru, artemiaprgn@mail.ru
[2]Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае, Барнаул, Россия

Аннотация. На основе материалов комплексной экспедиции, осуществленной в течение августа 2021 г. по реке Обь (от истока — слияния рек Бия и Катунь до города Камень-на-Оби), проведена оценка состояния ихтиофауны и ихтиопаразитофауны верховий реки в летний период.

Ключевые слова: Алтайский край, река Обь, ихтиофауна, ихтиопаразитофауна

RESULTS OF FISHERIES RESEARCH OF THE UPPER OB, ALTAY TERRITORY (BASED ON THE MATERIALS OF THE EXPEDITION 2021)

Georgy A. Romanenko[1,2], Irina Yu. Teryaeva[1], Sergey A. Osipov[1], Denis G. Elizariev[1]

[1]Altai Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (AltaiNIRO), Barnaul, Russia, ihtiolog_alt@vk.com, geo403@yandex.ru, teryaeva_altainiro@mail.ru, artemiaprgn@mail.ru
[2]Center of Hygiene and Epidemiology in the Altai Territory

Abstract. Based on the materials of a complex expedition conducted in August of 2021 along the Ob River (from the source – the confluence of the Biya and Katun Rivers to the city of Kamen-na-Ob), the assessment of the state of the ichthyofauna and ichthyoparasitofauna of the upper reaches of the river in summer is carried out.

Keywords: Altai Region, Ob River, ichthyofauna, ichthyoparasitofauna

В гидрографическом отношении значительная часть Алтайского края относится к бассейну верхнего течения р. Обь. Ее истоком является слияние рек Бия и Катунь в районе г. Бийска. Железнодорожный мост в центре г. Камень-на-Оби считается началом зоны выклинивания руслового Новосибирского водохранилища. Данный участок исследователи часто указывают как «верховья Оби». Его протяженность составляет 458 км, обских проток и стариц — около 1130 км. Площадь водосбора — 20 900 тыс. га. Общая минерализация р. Обь на разных участках русла в течение года варьирует в пределах от 150 до 350 мг/л, значение pH характеризует водную среду как слабощелочную (Веснина и др., 1999).

Река Обь, по рыбохозяйственной таксации, относится к водоемам высшей категории с обитанием в ней ценных и редких видов рыб (Постановление Правительства РФ.., 2019). Видовой состав ихтиофауны р. Обь и ее пойменных водоемов в черте Алтайского края представлен 34 видами (Журавлев и др., 2020). Из них к промысловым видам относятся: обыкновенная щука *Esox lucius* (Linnaeus, 1758), лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758), серебряный карась *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), сазан *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758), язь *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758), плотва *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), налим *Lota lota* (Linnaeus, 1758), речной окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), обыкновенный судак *Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758) и головешка-ротан *Perccottus glenii* Dybowski, 1877. Следует отметить, что сибирский осетр *Acipenser baerii* Brandt, 1869, стерлядь *A. rutenus* (Linnaeus, 1758), ленок *Brachymystax lenok* (Pallas, 1773), обыкновенный таймень *Hucho taimen* (Pallas, 1773) и нельма *Stenodus leucichthys* (Güldenstädt, 1772) включены в Красную книгу Алтайского края (2016), и их лов запрещен.

Ихтиофауна верховий Оби, преимущественно промысловая, с 60-х гг. XX в. системно изучается научными организациями, в первую очередь Алтайским филиалом ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»). Исследования ежегодно проводятся на контрольно-наблюдательных пунктах (КНП) на двух участках реки: в Каменском и Первомайском районах. Однако до сих пор комплексные ихтиологические исследования всей русловой части реки не проводились. Экспедиция 2021 года положила начало такой работе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для настоящей статьи был собран во время проведения комплексной экспедиции по р. Обь сотрудниками Алтайского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (АлтайНИРО) и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Алтайском крае» в августе 2021 г. (рис. 1). Также использовались архивные материалы АлтайНИРО. Систематическое положение объектов ихтиофауны приведено согласно Атласу пресноводных рыб России (2003). Сплав по реке от г. Бийска до г. Камень-на-Оби осуществлялся на двух алюминиевых лодках Volzhanka 49 Fish и Wellboat-33 с подвесными лодочными моторами, мощностью 60,0 и 8,0 л. с. соответственно.

Сбор ихтиологического материала проводился методом контрольных обловов набором ставных жаберных сетей с ячеей 8,0–85,0 мм, длительность экспозиции — 12 ч. При сборе, обработке и анализе материала применялись общепринятые методики (Правдин, 1966; Лакин, 1990) с их современными дополнениями (Решетников, Попова, 2015). Измерялись абсолютная и промысловая длина рыб с точностью до 1 мм и масса с точностью до 1 г.

Параллельно с ихтиологическими работами осуществлялись и ихтиопатологические наблюдения, необходимые для оценки состояния и прогноза изменения численности рыбного населения, так как паразитарные инвазии могут наносить существенный урон популяциям рыб.

Отбор проб и обработка материала по ихтиопатологическому состоянию гидробионтов проводились согласно МУК 3.2.988-00 «Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки» и общепринятых методик (Лабораторный практикум.., 1983; Быховская-Павловская, 1985). Для видовой идентификации паразитов использовали определители (Определитель паразитов.., 1984, 1985, 1987).

При проведении ихтиопатологических исследований для оценки зараженности рыб использовались общепринятые в паразитологии показатели:

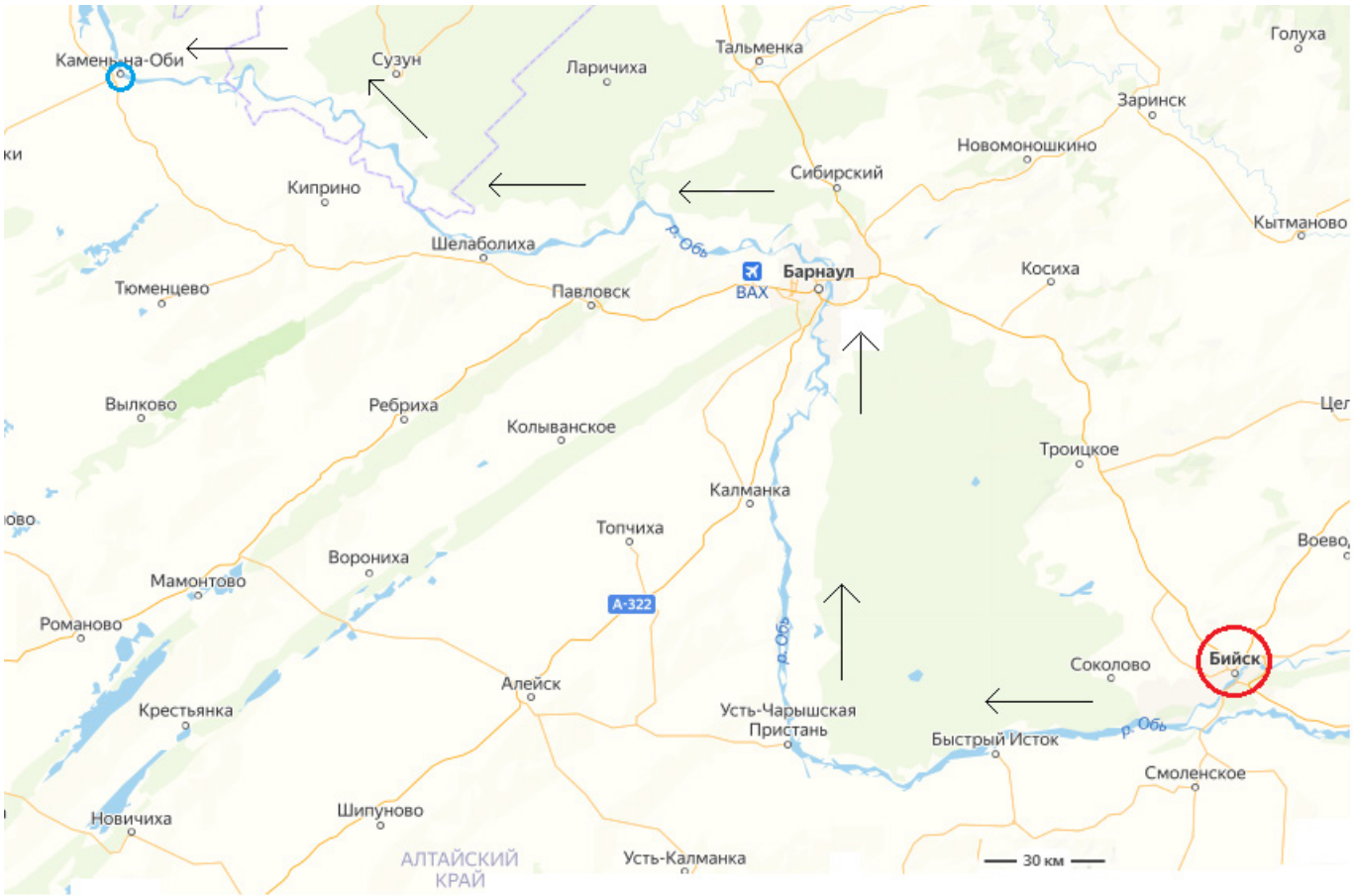

Рис. 1. Маршрут комплексной ихтиологической экспедиции Бийск – Камень-на-Оби, 2021 г.
Fig. 1. The route of the complex ichthyological expedition Biysk – Kamen-on-Ob, 2021

– пораженность, или экстенсивность инвазии (ЭИ) — число зараженных экземпляров рыб к числу исследованных в процентах;
– интенсивность инвазии (ИИ) — минимальное и максимальное число паразитов в одной зараженной особи рыбы;
– индекс обилия (ИО) — среднее число паразитов на каждую обследованную рыбу в выборке (СанПиН 2.3.2.1078-01.., 2001).

Всего в ходе экспедиции для паразитологического анализа проведен отбор проб 8 видов рыб (лещ, серебряный карась, язь, обыкновенный судак, обыкновенная щука, плотва, речной окунь, налим).

Статистическая обработка, подготовка таблиц и графических изображений данных проведены на ЭВМ с использованием пакета программ Microsoft Office 2007 и Paint.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За время экспедиции были отобраны репрезентативные выборки пяти видов рыб: леща, плотвы, обыкновенной щуки, речного окуня и обыкновенного судака. Единично отмечены из промысловых — серебряный карась, язь, сазан и налим; из непромысловых — обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758), елец *Leuciscus leuciscus* (Linnaeus, 1758) и уклейка *Albumus albumus* (Linnaeus, 1758).

В научных уловах августа 2021 г. доминировал лещ. Из шести возрастных групп преобладали особи пяти–шести лет (59,5%) со средней массой 440–600 г и промысловой длиной 270–300 мм (табл. 1). Доля старшевозрастных особей незначительна. Наблюдается сокращение возрастного ряда от Новосибирского водохранилища вверх по течению к истоку р. Обь, что подтверждается нашими предыдущими исследованиями (Романенко, 2016).

Вторым видом по численности в уловах являлась плотва (табл. 2). Ее стадо образовано пятью возрастными группами (от 2 до 6 лет). Основу контрольных уловов составляли двухлетние особи (51,6%) при средней промысловой длине 110 мм и массе 22 г. Полученная картина говорит о благоприятных условиях для размножения вида последние 5–6 лет, когда на фоне высоких уровней воды сроки затопления поймы были максимально длительны (с апреля по II–III квартал июля).

Третьим по численности в уловах отмечен речной окунь, стадо которого характеризовалось присутствием пяти возрастных групп (табл. 3). Как и у плотвы, в уловах преобладали младшевозрастные группы: особи 2–3 лет (75,7%) со средней промысловой длиной 138–160 мм и массой 51–77 г.

В контрольных уловах обыкновенной щуки отмечено пять возрастных групп (табл. 4). Преобладали

Таблица 1. Размерно-возрастная структура уловов леща в р. Обь в границах Алтайского края, август 2021 г.
Table 1. The size-age structure of bream catches in the Ob River within Altai Territory, August 2021

Возраст, лет	Промысловая длина, мм		Масса рыб, г		n	Соотношение возрастных групп, %
	средняя	lim	средняя	lim		
2+	133 ± 11	95–185	61 ± 13	22–130	11	13,9
3+	198 ± 6	180–225	155 ± 19	102–252	9	11,4
4+	271 ± 7	215–325	440 ± 32	220–680	23	29,1
5+	299 ± 6	256–350	597 ± 36	334–901	24	30,4
6+	314 ± 8	276–330	706 ± 66	425–893	8	10,1
7+	366 ± 6	350–375	1097 ± 90	855–1262	4	5,1
Среднее	261 ± 8	95–375	463 ± 33	22–1262	79	100

Таблица 2. Размерно-возрастная структура уловов плотвы в р. Обь в границах Алтайского края, август 2021 г.
Table 2. The size-age structure of roach catches in the Ob River within Altai Territory, August 2021

Возраст, лет	Промысловая длина, мм		Масса рыб, г		n	Соотношение возрастных групп, %
	средняя	lim	средняя	lim		
1+	110 ± 2	95–141	22 ± 2	15–50	32	51,6
2+	153 ± 3	135–165	70 ± 4	41–85	11	17,7
3+	164 ± 6	129–205	80 ± 9	47–195	16	25,8
4+	234 ± 12	222–246	278 ± 29	249–306	2	3,3
5+	265	–	450	–	1	1,6
Среднее	138 ± 5	95–265	61 ± 9	15–450	62	100

Таблица 3. Размерно-возрастная структура популяции речного окуня в р. Обь в границах Алтайского края, август 2021 г.
Table 3. The size-age structure of perch catches in the Ob River within Altai Territory, August 2021

Возраст, лет	Промысловая длина, мм		Масса рыб, г		n	Соотношение возрастных групп, %
	средняя	lim	средняя	lim		
1+	138 ± 3	100–165	51 ± 4	21–82	25	40,2
2+	160 ± 3	150–190	77 ± 7	52–159	22	35,5
3+	213 ± 6	194–240	199 ± 22	152–295	7	11,3
4+	264 ± 4	255–275	393 ± 8	372–411	4	6,5
5+	288 ± 14	253–320	489 ± 43	369–568	4	6,5
Среднее	172 ± 6	100–320	127 ± 17	21–568	62	100

особи трех лет (58,7 %) со средней промысловой длиной 437 мм и массой 819 г.

В контрольных уловах обыкновенного судака отмечено шесть возрастных групп (табл. 5). Преобладали особи 4–5 лет (74,0%) со средней промысловой длиной 341–457 мм и массой 498–1227 г.

У рыб часто отмечается одновременное паразитирование нескольких видов возбудителей, что подтверждается и нашими исследованиями, проводимыми на водных объектах Алтайского края (Теряева и др., 2018; Теряева, Романенко, 2018). Основу паразитофауны рыб р. Обь составляют представители бореально-равнинного фаунистического комплекса. Другие фаунистические комплексы представлены единичными видами.

В водоемах Алтайского края у рыб обнаружены преимущественно многокомпонентные паразитоценозы: трематоды + нематоды + миксоспоридии. Моноинвазии и отдельные виды (паразитирование какого-либо одного вида гельминтов, простейших или ракообразных) отмечаются крайне редко.

Наибольшая степень зараженности личинками паразитов обнаружена у представителей видов, относящихся к семейству карповых Cyprinidae: лещ, язь, плотва, серебряный карась. В этой группе наиболее значимыми по видовому составу, частоте встречаемости и индексу обилия оказались следующие группы паразитов: миксоспоридии (1), моногенеи (1), нематоды (2), трематоды (9), крустацеозы (1). У леща наибольшее заражение отмечено метацеркарием дегенетического сосальщика *Posthodiplostomum cuticola* из семейства *Diplostomatidae* с экстенсивностью инвазии 30,7%, интенсивностью инвазии (1–4), индексом обилия 0,85 экз. паразитов. У плотвы также отмечено наибольшее поражение *P. cuticola* с экстенсивностью инвазии 50,0%, интенсивностью инвазии (2–10), индексом обилия 2,87 экз. паразитов. У серебряного карася зафиксировано наибольшее поражение *Dactylogyrus* sp. с экстенсивностью инвазии 50,0%, интенсивностью инвазии (1–4), индексом обилия 1,25 экз. паразитов. У язя отмечено наибольшее поражение *Dactylogyrus* sp. с экстенсивностью инвазии 100,0%, интенсивностью инвазии (3–6), индексом обилия 4,00 экз. паразитов.

У представителей семейства окуневые Percidae наиболее значимыми по видовому составу, частоте встречаемости и индексу обилия оказались следующие группы паразитов: моногенеи (1), нематоды (1), трематоды (4), крустацеозы (1). У обыкновенного судака отмечено наибольшее заражение *Ichthyocotylurus platycephalus* с экстенсивностью инвазии 100,0%, интенсивностью инвазии (4–48), индексом обилия 20,33 экз. паразитов. У речного окуня зафиксировано наибольшее поражение *Ergasilis sieboldi* с экстенсивностью инвазии 40,00%, интенсивностью инвазии (2–42), индексом обилия 11,20 экз. паразитов.

У обыкновенной щуки наиболее значимыми по частоте встречаемости и индексу обилия оказались следующие группы паразитов: моногенеи (2), нематоды (1), трематоды (6), крустацеозы (1), цестоды (1). Наиболее большое заражение отмечено *Dactylogyrus* sp. с экстенсивностью инвазии 57,14%, интенсивностью инвазии (1–6), индексом обилия 1,57 экз. паразитов; *Triaenophorus nodulosus* с экстенсивностью инвазии 42,85%, интенсивностью инвазии (1–3), индексом обилия 0,71 экз. паразитов.

У налима наиболее значимыми по частоте встречаемости и индексу обилия оказались следующие

Таблица 4. Размерно-возрастная структура популяции обыкновенной щуки в р. Обь в границах Алтайского края, август 2021 г.
Table 4. The size-age structure of common pike catches in the Ob River within Altai Territory, August 2021

Возраст, лет	Промысловая длина, мм		Масса рыб, г		n	Соотношение возрастных групп, %
	средняя	lim	средняя	lim		
1+	278 ± 23	255–300	183 ± 28	155–210	2	4,4
2+	437 ± 13	339–560	819 ± 74	339–1596	27	58,7
3+	510 ± 14	443–580	1206 ± 106	742–1787	11	23,9
4+	656 ± 16	615–690	2761 ± 299	2150–3570	4	8,6
5+	785 ± 15	770–800	4332 ± 368	3964–4700	2	4,4
Среднее	482 ± 17	255–800	1206 ± 142	155–4700	46	100

Таблица 5. Размерно-возрастная структура популяции обыкновенного судака в р. Обь в границах Алтайского края, август 2021 г.
Table 5. The size-age structure of common zander catches in the Ob River within Altai Territory, August 2021

Возраст, лет	Промысловая длина, мм		Масса рыб, г		n	Соотношение возрастных групп, %
	средняя	lim	средняя	lim		
0+	80	–	0,5	–	1	3,7
1+	109	–	16	–	1	3,7
2+	225 ± 10	215–235	135 ± 21	114–155	2	7,4
3+	341 ± 7	300–375	498 ± 33	351–667	12	44,4
4+	457 ± 10	405–490	1227 ± 71	818–1438	8	29,6
5+	510 ± 15	490–540	1730 ± 71	1611–1858	3	11,2
Среднее	367 ± 22	80–540	788 ± 105	0,5–1858	27	100

группы паразитов: трематоды (1), пиявки (1), цестоды (1), моллюски (1). Наиболее сильное заражение зафиксировано *Ichthyocotylurus platycephalus* с экстенсивностью инвазии 100,0%, интенсивностью инвазии (1–49), индексом обилия 31,00 экз. паразитов; *Cystobranchus mammilatus* с экстенсивностью инвазии 100,0%, интенсивностью инвазии (2–12), индексом обилия 5,66 экз. паразитов.

Также у леща, плотвы, язя, обыкновенного судака зафиксирован опасный для человека паразит *Paracoenogonimus ovatus*, экстенсивность инвазии у данных рыб составила порядка 7,6–75,0% (самый низкий процент у леща, самый высокий у плотвы).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На фоне крайне низкого уровня воды в августе 2021 г. по сравнению со среднемноголетними значениями, высокой селективности сетных орудий лова и сконцентрированности рыб на глубоких, часто закоряженных участках с быстрым течением достоверно оценить численность ихтиофауны верховий Оби не представилось возможным. Тем не менее положено начало комплексному изучению рыбного населения главной водной артерии Алтайского края не только на контрольно-наблюдательных пунктах, но и на всем ее протяжении. Для получения достоверных и полных научных данных необходимо проведение подобных экспедиционных работ в весенне-нерестовый, летний и осенний периоды.

Расширение исследований в данном направлении является достаточно значимым, и важно осуществлять регулярный контроль состояния популяций рыб и их паразитофауны, т. к. вызываемые паразитами заболевания опасны не только для рыб, но и для человека.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Атлас пресноводных рыб России. 2003. (Под ред. Ю.С. Решетникова). М.: Наука. В 2-х т. Т. 1. 379 с., Т. 2. 253 с.

Быховская-Павловская И.Е. 1985. Паразиты рыб — руководство по изучению. Л.: Наука. 117 с.

Веснина Л.В., Журавлев В.Б., Новоселов В.А., Новоселова З.И., Ростовцев А.А., Соловов В.П., Студеникина Т.Л. 1999. Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. Новосибирск: Наука. 285 с.

Журавлев В.Б., Романенко Г.А., Теряева И.Ю., Лукерин А.Ю. 2020. Аннотированный список рыбообразных и рыб Алтайского края (Россия, Западная Сибирь) // Алтайский зоологич. журнал. Вып. 16. С. 23–34.

Красная книга Алтайского края. 2016. Барнаул: Алт. ун-та. Т. 2. 312 с.

Лабораторный практикум по болезням рыб. 1983. (Под ред. В.А. Мусселиус). М.: Легк. и пищ. пром-сть. 253 с.

Лакин Г.Ф. 1990. Биометрия. М.: Высшая школа. 352 с.

Методы санитарно-паразитологической экспертизы рыбы, моллюсков, ракообразных, земноводных, пресмыкающихся и продуктов их переработки. 2001. М.: Фед. центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ. 69 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. 1984. Л.: Наука. Т. 1. 431 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. 1985. Л.: Наука. Т. 2. 425 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. 1987. Л.: Наука. Т. 3. 583 с.

Постановление Правительства Российской Федерации от 28 февраля 2019 г. № 206 «Об утверждении Положения об отнесении водного объекта или части водного объекта к водным объектам рыбохозяйственного значения и определении категорий водных объектов рыбохозяйственного значения».

Правдин И.Ф. 1966. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) (Под ред. П.А. Дрягина и В.В. Покровского). М.: Пищ. пром-сть. 375 с.

Решетников Ю.С., Попова О.А. 2015. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // Тр. ВНИРО. Т. 156. С. 114–131.

Романенко Г.А. 2016. Оценка водных биоресурсов речной системы Алтайского края // Современные тенденции развития науки и технологий. Белгород: ИП Ткачева. № 9-2. С. 69–73.

СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». 2001.

Теряева И.Ю., Романенко Г.А. 2018. Современное ихтиопатологическое состояние в водных объектах Алтайского края // Рыбохозяйственные водоемы России: фундаментальные и прикладные исследования: Матер. II Всерос. науч. конф. (Санкт-Петербург, 2-4 апреля 2018 г.). СПб.: ГосНИОРХ. С. 678–682.

Теряева И.Ю., Сурков Д.А., Романенко Г.А. 2018. Биоразнообразие паразитофауны в Верховьях реки Обь Алтайского края // Междунар. конф. «Пресноводные экосистемы: современные вызовы». Иркутск. С. 335–336.

УДК 639.3.09

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЙОДИНОЛА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ИНФЕКЦИОННОГО НЕКРОЗА ГЕМОПОЭТИЧЕСКОЙ ТКАНИ У РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ)

Светлана Леонидовна Рудакова[1], Юлия Петровна Щелкунова[2], Юлия Александровна Новоселова[2], Светлана Александровна Рекордатова[2], Ирина Юрьевна Кропочева[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва, Россия, rudakova@vniro.ru
[2]Филиал по пресноводному рыбному хозяйству Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИИПРХ), Московская область, пос. Рыбное, Россия, kondina.yu@mail.ru, node-n@rambler.ru

Аннотация. Экспериментальным путем показали отсутствие негативного влияния йодинола с концентрацией активного йода 100 мг/л на развитие эмбрионов радужной форели и его эффективность при дезинфекции икры, экспериментально зараженной IHNV.

Ключевые слова: йодинол, дезинфекция икры лососей, вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани, аквакультура

Благодарности: авторы выражают благодарность руководству Камчатского филиала и Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ВНИРО за оказанную поддержку и возможность проведения совместных экспериментальных работ.

PRELIMINARY RESULTS OF THE IODINOL USE FOR PREVENTION OF INFECTIOUS HEMATOPOETIC NECROSIS IN RAINBOW TROUT (EXPERIMENTAL DATA)

Svetlana L. Rudakova[1], Ulia P. Schelkunova[2], Ulia A. Novoselova[2], Svetlana A. Recordatova[2], Irina U. Kropocheva[2]

[1]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia, rudakova@vniro.ru
[2]Branch for the freshwater fisheries of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (“VNIIPRKH”), Moscow Region, village Rybnoe, Russia, kondina.yu@mail.ru, node-n@rambler.ru

Abstract. It was experimentally shown that iodinol with an active iodine concentration of 100 mg/l has no negative effect on the rainbow trout embryos, while it was effective in disinfecting eggs experimentally infected with IHNV.

Keywords: iodinol, salmon eggs disinfection, infectious hematopoietic necrosis virus, aquaculture

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the heds of the Kamchatka Branch and the Freshwater Fisheries Branch of VNIRO for their support and the opportunity to conduct joint experimental work.

Вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани относится к сем. Rabdoviridae, род *Novirhabdovirus*, является возбудителем инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHN) — заболевания, включенного в российский Перечень заразных, в том числе особо опасных, болезней животных, а также в Перечень болезней Международного эпизоотического бюро, которые необходимо контролировать на государственном уровне (Приказ Минсельхоза России.., 2011; Aquatic Animal code.., 2020).

В Северной Америке IHNV эндемичен по всему тихоокеанскому северо-западу, где он встречается у большинства видов тихоокеанских лососей и форели (Wolf, 1988; Dixon et al., 2016). В Азию и Европу в 1960-е и 1980-е годы, соответственно, он был завезен при перевозках зараженной икры и молоди из Северной Америки (Sano et al., 1977; Bovo et al., 1987).

С 2000 г. IHNV выявляют в садковых и бассейновых хозяйствах России у радужной форели, где погибает молодь (Shchelkunov et al., 2001). Вирус выделяли

у половозрелой нерки (*Oncorhynchus nerka*), используемой для воспроизводства на лососевых рыбоводных заводах (ЛРЗ) Камчатки, где зафиксировали три эпизоотии IHN (Рудакова, 2004, 2009; Рудакова и др., 2017). Доказана горизонтальная передача патогена через воду и от производителей потомству (Mulcahy, Pascho, 1984, 1985). В связи с этим, для снижения вероятности передачи патогена, контаминирующего поверхность икринки, овариальную и семенную жидкости, в мировой практике с 70-х годов XX в. на рыбоводных заводах для дезинфекции икры начали применять йодофор. По литературным данным, ванны в течение 10–60 мин с концентрацией активного йода 50–100 мг/л являются стандартной процедурой, применяемой сразу после оплодотворения икры и на стадии глазка. Большое количество зарубежных экспериментальных работ показало эффективность обработок икры после оплодотворения в йодофорах (Amend, 1974; Piper et al., 1986; Wood, 1979; McDaniel, 1994; Atemnkeng et at., 2006). В России для дезинфекции икры лососей рекомендуется использовать другой препарат — йодинол (Сборник инструкций.., 1998). В доступной литературе экспериментальных работ по эффективности йодинола при дезинфекции икры лососей для профилактики инфекционного некроза гемопоэтической ткани мы не нашли.

В настоящее время в России большое внимание уделяют развитию аквакультуры, преференции от государства стимулируют появление частных предприятий разных форм, в том числе использующих интенсивные технологии. Повышение плотностей посадки рыб и температур выращивания является одним из существенных факторов риска для развития вирусных болезней, лечение которых на настоящий момент не разработано. Поэтому главным направлением борьбы с вирусными инфекциями являются профилактика и контроль, основанные на действенных мерах дезинфекции.

Цель работы: экспериментальным путем показать безопасность обработки йодинолом икры радужной форели в процессе оплодотворения и инкубации, а также ее эффективность при заражении икры IHNV.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы проводили в Филиале по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» (ВНИИПРХ). Первый эксперимент по определению безопасности йодинола при развитии эмбрионов форели проводили в рыбоводном цехе инкубации и выращивания рыб в период нерестовой кампании. Второй эксперимент по определению эффективности йодинола против вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани — в вирусологическом отделе лаборатории болезней рыб ВНИИПРХ.

При дезинфекции икры за основу брали методики из Сборника инструкций (1998) и Руководства для аквакультуры Аляски (McDaniel, 1994). При обработке икры йодинолом был использован «модифицированный метод» (Рудакова и др., 2020). Суть модификации заключается в применении препарата в момент оплодотворения икры, в отличие от традиционного — после набухания.

Для дезинфекции икры радужной форели в рыбоводном цехе и в лаборатории применяли коммерческий йодинол с концентрацией активного йода 1 г/л. Для приготовления рабочего раствора препарат разводили в 10 частях воды (конечная концентрация 100 мг/л активного йода). При обработке икры йодинолом показатель pH поддерживали на уровне 6,5–7,5.

В первом эксперименте использовали икру радужной форели, полученную от трех самок, и сперму от пяти самцов. Перед оплодотворением половые продукты были объединены и затем весовым методом разделены на две равные партии: опытную и контрольную. Количество икринок в каждой партии было по 5000 шт.

При выполнении эксперимента икру смешивали с молоками и добавляли рабочий раствор йодинола в экспериментальную партию, вместо воды, перемешивали и оставляли для оплодотворения на 2 мин. После этого икру трижды промывали водой до полного удаления органики и помещали в контейнеры со свежим раствором йодинола (той же концентрации), для набухания. Через 30 мин йодинол сливали, икру промывали и оставляли в проточной воде для дальнейшего набухания. Оплодотворение контрольной партии икры и закладка ее на инкубацию проходили аналогично, но вместо йодинола использовали воду (табл. 1). Инкубацию икры проводили в инкубационных аппаратах горизонтального (лоткового) типа с замкнутым водоснабжением при температуре воды 14–15 °C.

Таблица 1. Условия проведения первого эксперимента — по определению влияния йодинола на развитие эмбрионов радужной форели
Table 1. Conditions for the first experiment – to determine the effect of iodinol on the development of rainbow trout embryos

Партия икры	При оплодотворении	При набухании
Контрольная (партия 1)	Без дезинфекции, активация после смешивания икры и спермы в воде	В воде
Экспериментальная (партия 2)	Активация после смешивания икры и спермы в рабочем растворе йодинола	В рабочем растворе йодинола

Во время инкубации партии отделили перегородками и инкубировали отдельно, проводили подсчет отхода на каждом этапе. Наблюдение за развивающимися эмбрионами проводили в течение 14 суток.

Для второго эксперимента было отобрано 450 шт. неоплодотворенных икринок радужной форели. Икру поделили на три равные части по 150 икринок в каждой. Икру опытной партии и положительного контроля заразили вирусом IHN (штамм FR2/00-12, коллекция ВНИИПРХ). Заражение проводили методом ванн, добавляли к икре вируссодержащую суспензию до концентрации 10^5 $ТЦД_{50}$/мл и инкубировали 60 мин при температуре 10 °С при постоянном перемешивании. Затем в опытную партию добавили раствор йодинола, а в партии положительного и отрицательного контроля деионизованную воду, и выдерживали 30 мин при 10 °С. Далее икру всех трех партий дважды промыли деионизованной водой и добавили ресуспендированные в среде Игла МЕМ-10 перевиваемые клетки EPC. Пробы инкубировали 60 мин при 10 °С на качалке (50 качаний в минуту). Затем суспензию клеток отобрали из флаконов с икрой и посеяли в культуральные флаконы объемом 25 $см^3$, по два флакона на каждую группу. Инкубацию клеток вели при 15 °С в течение 14 дней, ежедневно исследуя под микроскопом. Схема эксперимента приведена в таблице 2.

Культивирование и заражение перевиваемых клеток, идентификацию в реакции нейтрализации и титрование вируса проводили в соответствии с общепринятой методикой (Сборник инструкций.., 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В первом эксперименте оплодотворение и развитие икры радужной форели происходило в стандартном режиме, без каких-либо отклонений (табл. 3).

На рисунке 1 приведена динамика отхода икры форели в течение первого эксперимента.

На графике видно, что динамика отхода инкубируемой икры партии 1 и партии 2 отличалась незначительно. В критических точках — на этапах обводнения (1-е сут), стадии эпителиальной бластулы (4-е сут) и стадии образования зародышевого валика (11-е сут) — различия в количественных значениях

Таблица 2. Условия проведения второго эксперимента — по определению эффективности йодинола против вируса инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHNV)
Table 2. Conditions for the second experiment – to determine the effectiveness of iodinol against infectious hematopoietic tissue necrosis virus (IHNV)

Экспериментальные партии	Заражение IHNV	Обработка	Промывка	Перевиваемые линии клеток для инокуляции
Положительный контроль	+	вода	вода	EPC
Отрицательный контроль	–	вода	вода	EPC
Опытная	+	йодинол	вода	EPC

Таблица 3. Параметры инкубации икры форели в ходе эксперимента профилактической обработки йодинолом
Table 3. Parameters of incubation of trout eggs during the experiment of prophylactic treatment with iodinol

Показатели	Партия 2 (эксперимент)	Партия 1 (контроль)
Заложено икры на инкубацию, шт.,	5000	5000
Отход за 14 сут. инкубации, %	9,6	10,2
Температура воды при инкубации, °С	14,2	14,2
Содержание растворенного кислорода в воде, мг/л	7–10	7–10

Рис. 1. Динамика отхода икры форели в период инкубации
Fig. 1. Dynamics of rainbow traout egg losses during incubation

отхода были незначительными. При этом следует отметить, что отход икринок в партии 2 на стадии бластулы был ниже. Отклонений в развитии личинок в партиях также не отмечали.

Результаты эксперимента по определению воздействия йодинола на вирус инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHNV) представлены в таблице 4.

Таким образом, обработка йодинолом оказалась эффективной при дезинфекции икры форели, зараженной IHNV.

Результаты, полученные ранее при дезинфекции икры нерки на камчатских ЛРЗ (Рудакова и др., 2020), и проведенного эксперимента на икре радужной форели, показали, что действие йодинола на биологические мембраны икры и сперматозоиды не оказывает выраженного токсического эффекта и не вызывает их гибели, в отличие от йодофоров. Это обусловлено тем, что йодинол представляет собой йодокрахмальный комплекс, и именно крахмал снижает токсичное воздействие. Йодинол с концентрацией молекулярного йода 1:1000 является не токсичным, не антигенным и не вызывает пирогенных реакций при введении животным, может применяться орально и парентерально (Мохнач, 1968, 1974). Исследования показали, что при нанесении на слизистые оболочки йодинол медленно расщепляет молекулярный йод и является сильным антисептическим и противовоспалительным веществом, а после разложения улучшает обмен веществ (Мохнач, 1968).

На предприятиях аквакультуры в США и других странах икру лососей дезинфицируют с помощью темно-коричневого раствора йодофора — комплекса йода с поливинилпирролидоном (McDaniel, 1994). Йодистый комплекс повидона дополнительно стабилизируется йодидами или йодатами, содержащими 1% активного йода и этиловый спирт. Поливинилпирролидон обеспечивает постепенное выделение йода, удлиняя его взаимодействие с тканями организма и уменьшая его раздражающее действие (Zawada et al., 2014). В йодофоре веществом-носителем йода является пирролидон, который обладает токсическими свойствами для эмбрионов и способен разрушать органические соединения, в частности биологические мембраны. Именно поэтому в инструкциях по дезинфекции икры лососей йодофором всегда предупреждают, что обеззараживание надо проводить после оплодотворения, не допускать попадания раствора на неоплодотворенную икру (Manual of diagnostic tests.., 2019; Aquatic animal.., 2020). Следовательно, основным и очень важным отличием растворов, используемых для дезинфекции икры в России и мировой практике, является степень токсичности этих препаратов. Конечная же концентрация активного йода перед использованием его для дезинфекции икры в йодиноле и йодофоре одинаковая: 100 мг/л и pH ≈ 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные результаты экспериментальных исследований по обработке икры форели йодинолом в момент оплодотворения показали отсутствие негативного влияния на развитие эмбрионов и эффективность этого дезинфектанта против вируса IHN.

Полученные результаты являются предварительными, и для оценки пролонгированного воздействия препарата на молодь форели необходимы дополнительные исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Мохнач В.О. 1968. Теоретические основы биологического действия галоидных соединений. Л.: Наука. 279 с.

Мохнач В.О. 1974. Йод и проблемы жизни. Л.: Наука. 254 с.

Приказ Минсельхоза России от 19.12.2011 № 476 (ред. от 25.09.2020) «Об утверждении перечня заразных, в том числе особо опасных, болезней животных, по которым могут устанавливаться ограничительные мероприятия (карантин)» [Электронный ресурс. КонсультантПлюс http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_126146/] (дата обращения 02.09.2022).

Рудакова С.Л. 2004. Анализ развития эпизоотий, вызванной вирусом инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHNV) у мальков нерки *Oncorhynchus nerka* при искусственном выращивании (Камчатка) // Вопр. рыболовства. Т. 5, № 2 (18). С. 362–374.

Рудакова С.Л. 2009. Профилактика и контроль инфекционного некроза гемопоэтической ткани (IHN) на лососевых рыбоводных заводах // Ветеринарная практика. № 1 (44). С. 30–37.

Рудакова С.Л., Бочкова Е.В., Акбатыров А.Н. 2017. Эпизоотия инфекционного некроза гемопоэтической ткани у молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) на ЛРЗ «Озерки» (Камчатка) в 2017 г. / Сб. матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию КамчатНИРО (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 329–334.

Рудакова С.Л., Бочкова Е.В., Волкова Т.В., Сахаровская Л.В. 2020. Модификация метода профилактической обработки икры нерки йодинолом от IHNV на ЛРЗ Камчатки // Тр. ВНИРО. Т. 182. С. 141–151.

Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб. 1998. Ч. 1. М: Отдел маркетинга АМБагро. 310 с.

Таблица 4. Результаты эксперимента по определению эффективности йодинола против IHNV
Table 4. Results of the experiment to determine effectiveness of iodinol against IHNV

Экспериментальные партии	Температура инкубации, °С	Продолжительность инкубации, дней	IHNV	Титр вируса, $ТЦД_{50}$/мл
Положительный контроль	15	14	есть	8,35
Отрицательный контроль	15	14	нет	–
Партия 1	15	14	нет	–
Партия 2	15	14	есть	5,1

Amend D.F. 1974. Comparative toxicity of two iodophors to rainbow trout eggs // Transaction of the American Fisheries Society. 103 (1). P. 73–78.
Aquatic Animal code. Accessible via: https://www.oie.int/index.php?id=171&L=0&htmfile=chapitre_disinfection_eggs.htm. 03.06.2020.
Atemnkeng M.A., Plaizer-Vercammen J., Schuermans A. 2006. Comparison of free and bound iodine species as a function of three commercial povidone-iodine formulations and their microbiocidal activity // Int. J. Pharm. 317. P. 161–166.
Bovo G., Giorgetti G., Jorgensen P.E.V., Nelson N.J. 1987. Infectious hematopoietic necrosis: first detection in Italy // Bull Eur Assoc Fish Pathol. 7. P. 124.
Dixon P., Paley R., Alegria-Moran R., Oidtmann B. 2016. Epidemiological characteristics of infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV): a review // Vet. Res. 47. P. 1–63.
Manual of diagnostic tests for aquatic animals. 2019. The World Organisation for Animal Health (OIE). Eighth ed. OIE, Paris. 483 p.
McDaniel T.R. 1994. Alaska sockeye salmon culture manual / T.R. McDaniel, K.M. Pratt, T.R. Meyers, T.D. Ellison, J.E. Follett, J.A. Burke / Special fisheries report number Alaska Department of Fish and Game. Div. Commer. Fish., Manag. Develop. Alaska. 40 p.
Mulcahy D., Pascho R.J. 1984. Adsorption to fish sperm of vertically transmitted fish viruses // Science. 225. P. 333–335.
Mulcahy D., Pascho R.J. 1985. Vertical transmission of infectious hematopoietic necrosis virus in sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum) – isolation of virus from dead eggs and fry // Fish Diseases. 8. P. 393–396.
Piper R.G., McElwain I.B., Orme L.E., McCraren J.P., Fowler L.G., Leonard J.R. 1986. Fish hatchery management, Washington D.C. US Fish and Wildlife Service. 45 p.
Sano T., Nishimura T., Okamoto N., Yamazaki T., Hanada H., Watanabe Y. 1977. Studies on viral diseases of Japanese fish – VI. Infectious hematopoietic necrosis (IHN) of salmonids in the mainland of Japan // J. Tokyo Univ. Fisheries. 63. P. 81–85.
Shchelkunov I.S., Shchelkunova T.I., Kupinskaya O.A., Didenko L.V., Bykovsky A.F., Olesen N.J. 2001. Infectious hematopoietic necrosis (IHN): the first confirmed finding in Russia // 10th Intern. Conf. EAFP. Diseases of fish and shellfish. Book of abstracts. Dublin. P. 44.
Wolf K. 1988. Fish viruses and fish viral diseases / U.S. Fish and wildlife service. Ithaca, Londo, 478 p.
Wood J.W. 1979. Diseases of Pacific salmon, their prevention and treatment. State of Washington, Department of Fisheries, Hatchery Division. 39 p.
Zawada A., Polechonski R., Bronowska A. 2014. Iodine disinfection of sea trout, *Salmo trutta* (L.), eggs and the effect on egg surfaces // Arch. Pol. Fish. 22. P. 121–126.

УДК 591.2:592.384

ПОРАЖЕНИЯ ГЕПАТОПАНКРЕАСА У ПРОМЫСЛОВЫХ КРАБОВ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ РАЗНОЙ ЭТИОЛОГИИ

Татьяна Вячеславовна Рязанова

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, ryazanova.t.v@kamniro.ru

Аннотация. В статье обобщены материалы о патоморфологических особенностях изменений гепатопанкреаса при пяти заболеваниях промысловых крабов, обитающих в шельфовой зоне Камчатки.

Ключевые слова: болезни ракообразных, гепатопанкреас, визуальные признаки, гистологические признаки

Благодарности: автор приносит искреннюю благодарность коллегам и экипажам научно-исследовательских судов за содействие при сборе материала во время морских экспедиционных работ.

PATHOLOGY OF HEPATOPANCREAS OF DIFFERENT ETIOLOGIES IN COMMERCIAL CRABS OF KAMCHATKA WATERS: CLINICAL AND HISTOLOGICAL FEATURES

Tatyana V. Ryazanova

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ryasazanova.t.v@kamniro.ru

Abstract. The article has summarized materials on the morphological features of five diseases of the hepatopancreas in commercial crabs living in the shelf zone of Kamchatka.

Keywords: crustacean diseases, hepatopancreas, visual signs, histological signs

Acknowledgements: the author expresses her sincere gratitude to colleagues and crews of research vessels for their assistance in collecting material during marine expeditions.

По данным многолетних исследований болезней промысловых ракообразных, обитающих в шельфовой зоне у берегов Камчатки, изменения гепатопанкреаса (пищеварительной железы) является одним из самых массовых патологических состояний. Так, например, доля животных с некрозом гепатопанкреаса среди исследованных крабов-стригунов Бэрда на шельфе Западной Камчатки в отдельные годы достигала 17% (Рязанова и др., 2013; Рязанова, Устименко, 2014). При этом этиологическими агентами, вызывающими у ракообразных патологию гепатопанкреаса, были риккетсии, бактерии, микроспоридии, вирусы и/или комплексные инфекции. Таким образом, это были разные заболевания, зачастую имеющие очень похожие визуальные признаки. Некоторые из болезней, обнаруженных у ракообразных в наших водах, могут оказывать влияние как на качество продукции, так и на численность гидробионтов. В перечень особо опасных болезней ракообразных Международным эпизоотическим бюро (МЭБ) включены некротизирующий гепатопанкреатит и острый некроз гепатопанкреаса (The World Organisation.., 2019). В ряде случаев, особенно при наличии смешанной инфекции и/или поздней стадии заболевания, установить его этиологию очень трудно. Поэтому наряду с идентификацией самих патогенных организмов (выяснения их морфологического строения, систематического положения и т. д.), очень важно понимание различий и особенностей в патоморфологии каждого из заболеваний, их специфических диагностических признаков. Без этого невозможно их идентифицировать и, соответственно, определить распространенность и вклад каждого заболевания в общую картину эпизоотической обстановки в популяциях ракообразных. Целью настоящей работы было обобщение многолетних данных о патоморфологических признаках заболеваний гепатопанкреаса различной этиологии у промысловых крабов, обитающих в шельфовой зоне Камчатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использовали материал, собранный в ходе летних траловых съемок 2014, 2016 гг. на шельфе Западной Камчатки, четырех ловушечных съемок 2018–2021 гг. на шельфе Восточной Камчатки (Авачинский и Кроноцкий заливы), а также двух ловушечных съемок 2019 и 2020 гг. в Камчатско-Курильской промысловой подзоне. Объектами исследований были обитающие в этих районах крабы промысловых видов: камчатский *Paralithodes camtschaticus*, синий *P. platypus*, равношипый *Lithodes aequispinus*, стригун опилио *Chionoecetes opilio,* стригун Бэрда *Ch. bairdi,* четырехугольный волосатый *Erimacrus isenbeckii*.

Одновременно с полным биологическим анализом и определением видового и количественного состава улова проводили визуальный учет крабов, имеющих клинические признаки заболеваний. На каждой станции осматривали до 200 крабов каждого вида или весь улов, если ракообразных было меньше 200 экз. Все особи с клиническими признаками патологии подвергались патологоанатомическому анализу. Для выявления заболеваний, не имеющих клинических признаков, проводили патологоанатомическое вскрытие отобранных случайно визуально здоровых ракообразных. Отмечали и подробно описывали все обнаруженные отклонения от нормальной морфологии внутренних органов животных. От всех ракообразных с признаками патологии отбирали образцы для гистологических исследований (табл. 1).

Отобранные для гистологического и гистохимического анализа образцы внутренних органов ракообразных фиксировали в жидкости Дэвидсона, приготовленной на морской воде. После фиксации образцы сохраняли в 70%-м этиловом спирте (Bell, Lightner, 1988). Дальнейшую обработку гистологических проб и окрашивание препаратов гематоксилин-эозином по Мейеру, по Граму, Романовскому–Гимзе, Цилю–Нильсену проводили по общепринятым методикам (Bancroft et al., 1990). Полученные препараты изучали под световым микроскопом Olympus BH-2, имеющим автоматическое фотографическое устройство.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Заболевания ракообразных, при которых поражается гепатопанкреас, не имеют специфических клинических признаков, и их невозможно обнаружить при внешнем осмотре. Единственным визуальным проявлением болезни может быть малоподвижность животного и отсутствие реакции на внешние раздражители. Но эти признаки обычны как при множестве заболеваний, так и при различных травмах, обусловленных, например, воздействием промысловых операций. Поэтому все случаи патологии гепатопанкреаса у исследованных нами ракообразных были обнаружены при вскрытии животных и/или при гистологическом анализе образцов тканей. Изменения гепатопанкреаса различного характера мы регистрировали у ракообразных всех исследованных видов. Признаки патологии включали изменения цвета, размеров и консистенции трубочек гепатопанкреаса, а также казеозный и разжижающий некроз. Результаты дальнейших исследований показали, что патология гепатопанкреаса у ракообразных была обусловлена разными заболеваниями, каждое их которых имело свои морфологические особенности.

Абсцессоподобный некроз гепатопанкреаса является наиболее часто встречаемой патологией у крабов, обитающих в прикамчатских водах. Он был зарегистрирован у крабов всех исследованных видов (Рязанова, 2012; Рязанова и др., 2013; Рязанова, Устименко, 2014). Характерный визуальный признак заболевания — казеозный некроз трубочек, приводящий к их мумификации. Пораженные трубочки выглядят как твердая, черная или коричневая проволока. В зависимости от тяжести заболевания, такие трубочки образуют единичные или множественные мелкие участки (Ø 1–3 мм) или формируют крупные сгустки размером в несколько сантиметров. Встречались больные особи с полностью пораженной левой или правой частью гепатопанкреаса. Обычно мумифицированные трубочки были окружены белым веществом кремообразной консистенции, похожим на гной, причем не затронутые некрозом трубочки сохраняли цвет и нормальный тонус здорового органа. У особей с небольшим объемом поражения в же-

Таблица 1. Количество крабов (экз.) каждого вида, подвергнутых патологоанатомическому (А) и гистологическому (Б) анализу в районах исследований в различные годы
Table 1. The number of crabs (specimens) of each species subjected to pathoanatomical (A) and histological (Б) analysis in the areas of the research in different years

Вид краба	Шельф Западной Камчатки 2014, 2016 гг.		Шельф Восточной Камчатки 2018, 2019, 2020, 2021 гг.		Камчатско-Курильская промысловая подзона 2019, 2020 гг.	
	А	Б	А	Б	А	Б
P. camtschaticus	3034	90	237	39	190	12
P. platypus	994	62	0	0	0	0
Lithodes aequispinus	114	6	0	0	0	0
Ch. opilio	426	14	30	6		
Ch. bairdi	3437	63	3440	102	1164	38
Erimacrus isenbeckii	756	22	27	9	132	15

лудочно-кишечном тракте была пища. Картина гистологических изменений гепатопанкреаса характеризовалась прежде всего тотальной инфильтрацией интертубулярных пространств гемоцитами (в основном, эозинофильными гранулоцитами) и соединительнотканными элементами. Трубочки гепатопанкреаса были повреждены в разной степени. В слабо пораженных трубочках отмечали дистрофию клеток эпителия и их дилатацию. Полости трубочек были заполнены базофильной аморфной массой, состоящей из клеточного дебриса и скопления палочковидных бактерий, грамотрицательных при окраске препарата по Граму. При сильном повреждении в трубочках регистрировали лизис всех типов клеток эпителия и разрушение базальной мембраны. Мигрировавшие в эту зону гемоциты (эозинофильные гранулоциты) были сконцентрированы вокруг поврежденных трубочек, образуя подобие капсулы. В результате процесса фагоцитоза и последующего разрушения гемоцитов постепенно накапливались некротические меланизированные массы, расположенные на месте бывших трубочек и повторяющие их форму. Рядом с полностью некротизированными (мумифицированными) находились трубочки нормальной морфологии, и, по-видимому, сохраняющие свои функции (рис. 1А). В подавляющем большинстве случаев при посевах тканей некротизированных трубочек гепатопанкреаса и окружающей их гноеподобной субстанции на питательные среды выделяли бактерий рода *Vibrio* (*V. alginolyticus* и *V. fluvialis*) (Рязанова, 2012; Рязанова и др., 2013). При незначительном изменении трубочек гепатопанкреаса последствия для ракообразных неизвестны, но вероятно, что при большом объеме поражения абсцессоподобный некроз приводит к гибели больных животных, поскольку становится невозможным функционирование этого органа. Наше предположение косвенно подтверждают случаи высокой смертности у культивируемых ракообразных с подобной патологией (Lightner, Redman, 1985; Bower et al., 1994).

Некротизирующий гепатопанкреатит, вызываемый внутриклеточными риккетсиоподобными протеобактериями, был зарегистрирован у синего, камчатского, стригуна Бэрда и четырехугольного волосатого крабов. Трубочки гепатопанкреаса у крабов при этом заболевании были очень мягкие, светло-кремового или желтоватого цвета, без тонуса. В некоторых случаях светло-желтые участки перемежались с участками коричневого цвета (обычного для гепатопанкреаса здоровых особей), из-за чего трубочки выглядели «зональными». У всех больных ракообразных желудочно-кишечный тракт был пустым. Бактериального роста при посевах образцов тканей больных крабов не наблюдали, что дало основание предположить риккетсиоз. Риккетсии являются облигатными внутриклеточными патогенными организмами, и их невозможно культивировать на бактериологических средах. Основным микроскопическим признаком заболевания было наличие в цитоплазме клеток эпителия трубочек гепатопанкреаса базофильного гранулированного материала, негативного при окраске по Граму (рис. 1Б). Внутри клеток хозяина гранулы содержались в крупных, как правило, одиночных вакуолях (во всяком случае, в начале развития инфекции клетки), или гранулированный материал лежал свободно и занимал весь объем цитоплазмы. Регистрировали сильную гипертрофию зараженных клеток и их десквамацию в просвет трубочек гепатопанкреаса, где одновременно присутствовали сохраняющие оболочку и ядро клетки, разрушающиеся клетки и гранулированный материал, высвободившийся из разрушенных клеток. Отмечали трубочки на различных стадиях некроза. На поздних этапах стенки трубочек были полностью разрушены и представляли собой меланизированный материал, а их полость была заполнена гомогенной базофильной субстанцией. В интерстиции отмечали формирование гранулем вследствие массовой инфильтрации гемоцитами и фиброзными элементами, особенно вокруг трубочек на стадии некроза. В интертубулярных пространствах наблюдали обширные отечные области. С использованием электронно-микроскопических и молекулярно-генетических методов была изучена морфология и определено систематическое положение патогенного организма у синих крабов с некротизирующим гепатопанкреатитом. По результатам исследований был описан новый вид риккетсиоподобного организма gen. *Candidatus Hepatobacter paralithodi* nov sp. (Ryazanova et al., 2020). Он оказался очень схожим с *Candidatus Hepatobacter penaei,* вызывающим некротизирующий гепатопанкреатит у культивируемых креветок. Этот организм находится в списке особо опасных патогенов ракообразных Международного эпизоотического Бюро (OIE) (Nunan et al., 2013; The World Organisation.., 2019). Электронная микроскопия показала, что, хотя заболевания у камчатского, краба-стригуна Бэрда и четырехугольного волосатого крабов имеют очень похожие визуальные признаки и гистологическую картину с некротизирующим гепатопанкреатитом у синего краба, этиологические агенты заболевания разные. Бактерии от крабов трех указанных видов отличаются от риккетсиоподобного организма gen. *Candidatus Hepatobacter paralithodi* nov sp. — патогена синего краба. Их систематическое положение на настоящий момент не определено. Таким образом, некротизирующий гепатопанкреатит у промысловых крабов на шельфе Западной Камчатки вызывают различные виды риккетсиоподобных организмов.

Микроспоридиозная инвазия клеток эпителия трубочек гепатопакреаса была зарегистрирована у крабов-стригунов опилио и Бэрда. Аналогично двум выше описанным заболеваниям одним из визуальных признаков патологии гепатопанкреаса было наличие казеозного некроза целых трубочек гепатопанкреаса или их фрагментов. Подобно признакам некротизирующего гепатопанкреатита, цвет трубочек у крабов с микроспоридиозной инвазией был очень светлым желтоватым или кремовым, но их консистенция при этом была плотной. У некоторых больных животных отмечали небольшое количество трубочек нормальной морфологии и остатки пищи в желудочно-кишечном тракте. Гистологические исследования показали наличие в цитоплазме клеток эпителия гепатопанкреаса спор микроспоридий (рис. 1В, Г). Округло-яйцевидные споры были единичными и не заключены в панспоробластическую оболочку. Регистрировали гипертрофию зараженных клеток, их последующую десквамацию и разрушение базальной мембраны трубочек. Также наблюдали инфильтрацию гемоцитами межтубулярных пространств и образование меланизированных капсул вокруг пораженных трубочек гепатопанкреаса. Таксономическое положение микроспоридии, обнаруженной нами у крабов-стригунов двух видов, остается неизвестным, но по предварительным данным, организм близок к микроспоридии *Hepatospora eriocheir*, которая поражает китайского мохнаторукого краба *Eriocheir sinensis* в Азии (Wang, Chen, 2007). Причем в 2011 г. микроспоридии *Hepatospora eriocheir* были обнаружены у крабов того же вида в Европе, что, как полагают авторы, является результатом биоинвазии (Stentiford et al., 2011).

Вирусная инфекция клеток эпителия трубочек гепатопанкреаса была зарегистрирована у трех видов ракообразных (синего, камчатского, краба-стригуна Бэрда). Трубочки гепатопанкреаса у больных животных были нитевидными, белесого или зеленоватого цвета, а общий объем органа заметно меньше, чем у здоровых особей. Иногда отмечали также наличие мумифицированных трубочек или их фрагментов. При гистологических исследованиях обнаружили характерные изменения ядер в клетках эпителия гепатопанкреаса: гипертрофию, замещение содержимого ядра вирогенной стромой, маргинацию хроматина, смещение ядрышка на периферию ядра (рис. 1Д). Отмечали наличие цельных и разрушаю-

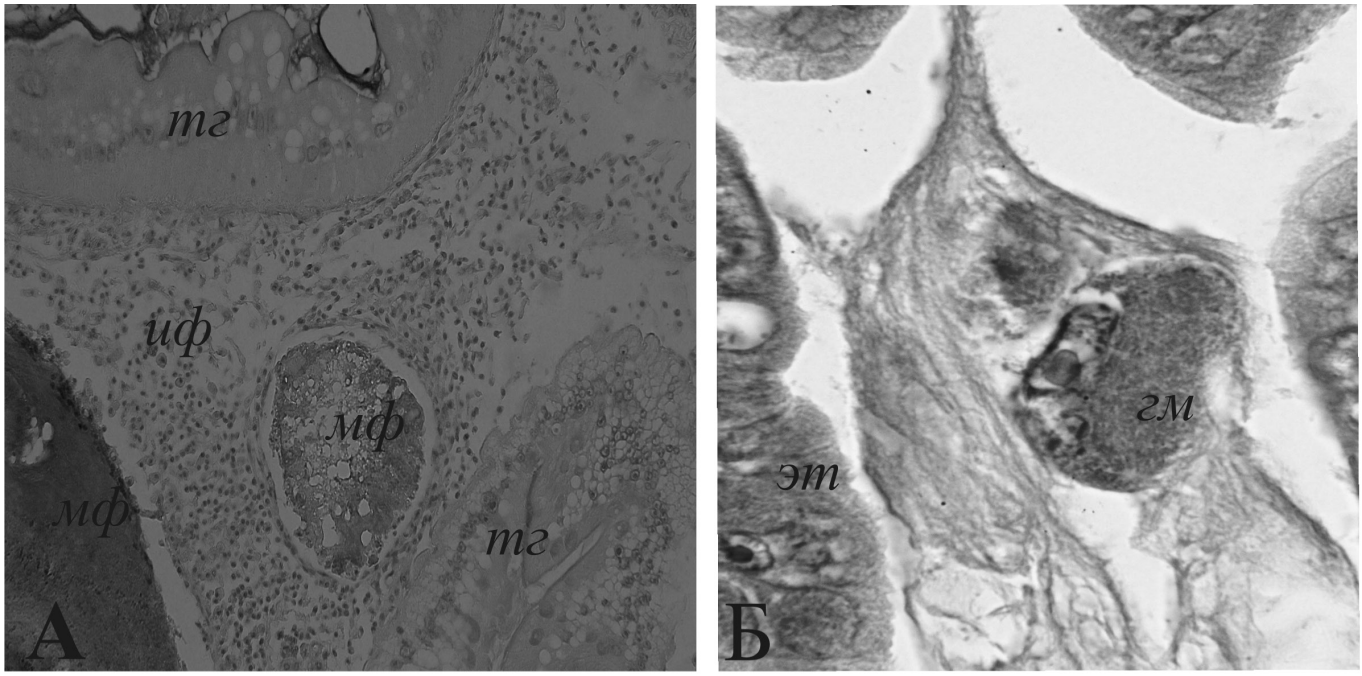

Рис. 1А, Б. Гистологические изменения гепатопанкреаса ракообразных при заболеваниях различной этиологии: А — абсцессовидный некроз; Б — некротизирующий гепатопанкреатит. Обозначения: гм — гранулированный материал в цитоплазме зараженной клетки эпителия трубочки; гя — зараженные вирусом гипертрофированные ядра клеток эпителия трубочки; иф — инфильтрация гемоцитами и соединительнотканными элементами интертубулярного пространства; кд — клеточный дебрис в полости трубочки; мф — мумифицированная трубочка (казеозный некроз); см — споры микроспоридий в цитоплазме клеток эпителия трубочки; тг — трубочка гепатопанкреаса; эт — клетки эпителия трубочки. Ув.: А, В, Е — ×100; Г, Д — ×400; Б — ×1000. Г–Э

Fig. 1A, Б. Histological changes in the hepatopancreas of crustaceans in diseases of various etiologies): A – abscess-like necrosis; Б – necrotizing hepatopancreatitis. Legend: гм – granular material in the cytoplasm of infected tubule epithelium cell; гя – virus-infected hypertrophied nuclei of tubular epithelial cells; иф – infiltration by hemocytes and connective tissue elements of the intertubular space; кд – cell debris in the cavity of the tubule; мф – mummified tube (caseous necrosis); см – spores of microsporidia in the cytoplasm of tubular epithelial cells; тг – tube of hepatopancreas; эт – tubular epithelial cells. Magnif.: A, B, E – ×100; Г, Д – ×400; Б – ×1000. Г–Э

щихся клеток с гипертрофированными ядрами в просвете трубочек. У особей с ранней стадией заболевания клеток с измененными ядрами немного, затем их количество увеличивается. Также в зависимости от тяжести заболевания увеличивается количество клеток, выделившихся в просвет трубочек и разрушенных. У особей с поздней стадией болезни отмечали признаки присоединившейся бактериальной инфекции: наличие в просвете трубочек скоплений палочковидных грамотрицательных бактерий. В этих случаях регистрировали картину гистологических изменений, в целом идентичную таковой при абсцессовидном некрозе гепатопанкреаса, описанном выше: разрушение клеток эпителия трубочек и их базальной мембраны, инфильтрацию гемоцитами интертубулярных пространств и образование меланизированных капсул на месте разрушенных трубочек. На поздних этапах бактериальной фазы клеток с характерно

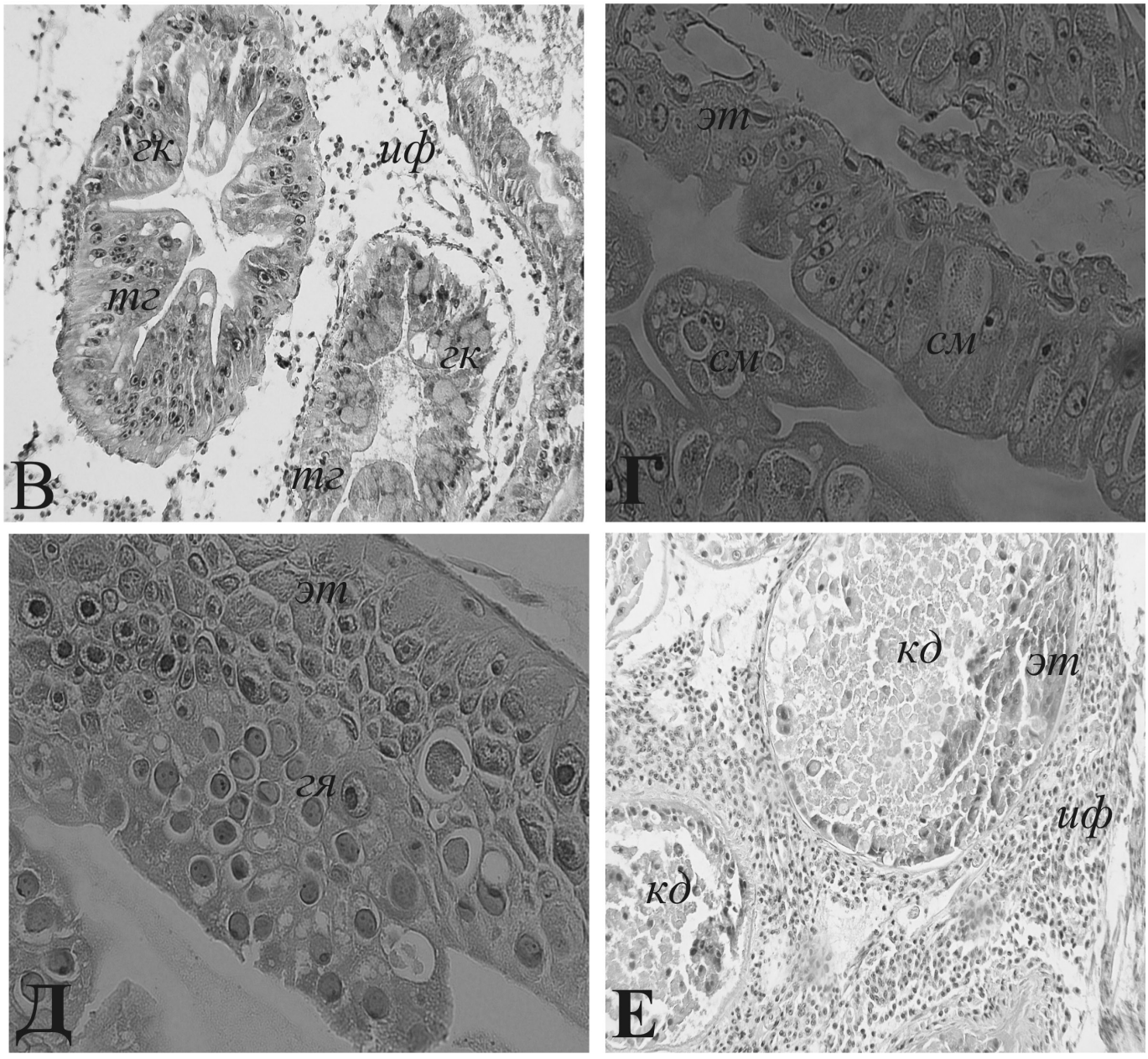

Рис. 1В, Г, Д, Е. Гистологические изменения гепатопанкреаса ракообразных при заболеваниях различной этиологии: В, Г — инвазия микроспоридиями; Д — вирусная инфекция; Е — острый некроз. Обозначения: гм — гранулированный материал в цитоплазме зараженной клетки эпителия трубочки; гя — зараженные вирусом гипертрофированные ядра клеток эпителия трубочки; иф — инфильтрация гемоцитами и соединительнотканными элементами интертубулярного пространства; кд — клеточный дебрис в полости трубочки; мф — мумифицированная трубочка (казеозный некроз); см — споры микроспоридий в цитоплазме клеток эпителия трубочки; тг — трубочка гепатопанкреаса; эт — клетки эпителия трубочки. Ув.: А, В, Е — ×100; Г, Д — ×400; Б — ×1000. Г–Э

Fig. 1B, Г, Д, E. Histological changes in the hepatopancreas of crustaceans in diseases of various etiologies): B, Г – invasion by microsporidia; Д – viral infection; E – acute necrosis. Legend: гм – granular material in the cytoplasm of infected tubule epithelium cell; гя – virus-infected hypertrophied nuclei of tubular epithelial cells; иф – infiltration by hemocytes and connective tissue elements of the intertubular space; кд – cell debris in the cavity of the tubule; мф – mummified tube (caseous necrosis); см – spores of microsporidia in the cytoplasm of tubular epithelial cells; тг – tube of hepatopancreas; эт – tubular epithelial cells. Magnif.: A, B, E – ×100; Г, Д – ×400; Б – ×1000. Г–Э

измененными вследствие вирусной инфекции ядрами почти не встречается (разрушены), т. е. первоначальную причину заболевания определить уже трудно. По полученным нами предварительным данным, обнаруженный нами вирус по морфологическому строению близок к вирусам сем. Baculoviridae, которые являются этиологическими агентами бакуловирусного некроза гепатопанкреаса (BMN) у нескольких видов ракообразных в аквакультуре. В настоящее время у ракообразных известно более десяти вирусов, которые поражают гепатопанкреас (Bateman, Stentiford, 2017).

Острый некроз гепатопанкреаса — еще одно заболевание, при котором поражается гепатопанкреас, зарегистирован нами у камчатского и синего крабов. Как правило, гепатопанкреас больных животных был заметно меньше, чем у здоровых особей. Все его трубочки были бледно-желтого цвета, мягкие и с признаками разжижающего некроза в их проксимальной части. В отдельных случаях в толще гепатопанкреаса встречались также отдельные трубочки или их фрагменты с признаками казеозного некроза. Поражение всегда было генерализованным, и трубочки нормальной морфологии отсутствовали. При гистологических исследованиях обнаружили прогрессирующую дегенерацию эпителия трубочек гепатопанкреаса от проксимального к дистальному концу. Клетки эпителия трубочек имели округлую форму и массово отслаивались в полость трубочек и протоков гепатопанкреаса. Также отмечали некроз и расплавление стенок трубочек, а также выраженное гемоцитарное воспаление в интерстиции (рис. 1Е). При этом в большинстве случаев бактерии в тканях гепатопанкреаса отсутствовали. Бактериальную инфекцию отмечали только у животных с очень сильной степенью некроза трубочек. Этот этап, по всей видимости, представлял собой терминальную стадию заболевания, а бактериальная контаминация была вторичной. Гистологическая картина изменений гепатопанкреаса, обнаруженная нами у камчатского и синего краба, очень похожа на картину острого некроза гепатопанкреаса Acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) (Nunan et al., 2014). Это заболевание известно у нескольких видов культивируемых креветок и внесено в список Международного эпизоотического Бюро (OIE) как особо опасное. Причиной острого некроза тканей гепатопанкреаса являются токсины, выделяемые вирулентными штаммами токсинобразуюших бактерий, прежде всего *Vibrio parahaemolyticus* (VpAHPND). Заболевание у ракообразных могут вызывать и другие бактерии рода *Vibrio*, способные образовывать токсины (The World Organisation.., 2019). Для определения этиологического агента при остром некрозе гепатопанкреаса у камчатского и синего крабов требуются дальнейшие исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По полученным данным, у промысловых крабов, обитающих в шельфовой зоне Камчатки, патология гепатопанкреаса сопровождает, как минимум, пять различных заболеваний: абсцессоподобный некроз, некротизирующий гепатопанкреатит, микроспоридиозная инфекция, вирусная инфекция, острый некроз гепатопанкреаса. В целом, визуальные признаки патологии гепатопанкреаса при заболеваниях различной этиологии имеют как различия, так и сходные черты. Так, являясь основным признаком при абсцессовидном некрозе, мумификация трубочек (казеозный некроз) в различном объеме встречается и при четырех других заболеваниях. Обесцвечивание трубочек происходит при всех заболеваниях, исключая абсцессовидный некроз, а их зональная окраска характерна как для микроспоридиозной инвазии, так и для некротизирующего гепатопанкреатита. Таким образом, по визуальным признакам возможно предположить, с какой болезнью мы имеем дело в каждом конкретном случае. Гистологическая картина каждого из заболеваний имеет достаточно четкие признаки, что позволяет определить его этиологию в подавляющем большинстве случаев. Однако следует иметь в виду, что при присоединении вторичных инфекций на поздних стадиях болезней не исключены ошибки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Рязанова Т.В. 2012. Некротические изменения внутренних органов у промысловых крабов Охотского моря / Матер. Всерос. науч. конф., посвящ. 80-летию КамчатНИРО (Петропавловск-Камчатский, 26–27 сентября 2012 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 551–557.

Рязанова Т.В., Харламенко В.И., Устименко Е.А. 2013. Инфекционные и инвазионные заболевания и их распространенность у промысловых крабов на шельфе Западной Камчатки // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 29. С. 125–136.

Рязанова Т.В., Устименко Е.А. 2014. Основные результаты обследования промысловых ракообразных прикамчатских вод в 2012–2013 гг. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 34. С. 51–61.

Bancroft D., Stevens A., Turne r D.R. 1990. Theory and practice of histological techniques. Edinburgh-London-Melbourne-New York: Churchill Livingstone Inc. 725 p.

Bateman K.S., Stentiford G.D. 2017. A taxonomic review of viruses infecting crustaceans with an emphasis on wild hosts // J. of Invertebrate Pathology, http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.010

Bell T.A., Lightner D.V. 1988. A handbook of normal penaeid shrimp histology. The World aquaculture society, Baton Rouge. P. 114.

Bower S.M., McGladdery S.E., Price I.M. 1994. Synopsis of infectious diseases and parasites of commercially exploited shellfish. Ann. Review of Fish Dis. Pergamon. Vol. 4. 199 p.

Lightner D.V., Redman R.M. 1985. Necrosis of the hepatopancreas in *Penaeus monodon* and *Penaeus stylirostris* (Arthropoda, Decapoda) with red disease // J. Fish Dis. Vol. 8. № 2. P. 181–188.

Nunan L., Lightner D., Pantoja C., Gomez-Jimenez S. 2014. Detection of acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) in Mexico // Diseases of Aquatic Organisms. 2014. Vol. 111. P. 81–86.

Nunan L.M., Carlos R., Gomez-Jimenez P.S., Lightner D.V. 2013. "Candidatus *Hepatobacter penaei*", an intracellular pathogenic enteric bacterium in the hepatopancreas of the Marine Shrimp *Penaeus vannamei* (Crustacea: Decapoda) // Appl. and Environmental Microbiology. Vol. 79. № 4. P. 1407–1409.

Ryazanova T.V., Eliseikina M.G., Kukhlevsky A.D. 2020. First record of a new rickettsia-like organism in the blue king crab *Paralithodes platypus* from the Sea of Okhotsk: distribution, morphological evidence and genetic analysis // J. of Invertebrate Pathology. 170. P. 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jip.2020.107325

Stentiford G.D., Bateman K.S., Dubuffet A., Chambers E., Stone D.M. 2011. *Hepatospora eriocheir* (Wang and Chen, 2007) gen. et comb. nov. infecting invasive Chinese mitten crabs (Eriocheir sinensis) in Europe // J. of Invertebrate Pathology. Vol. 108. P. 156–166.

The World Organisation for Animal Health (OIE). 2019. Manual of diagnostic tests for aquatic animals. Eighth ed. OIE, Paris. P. 483.

Wang W., Chen J. 2007. Ultrastructural study on a novel microsporidian, *Endoreticulatus eriocheir* sp. nov. (Microsporidia, Encephalitozoonidae), parasite of Chinese mitten crab, *Eriochier sinensis* (Crustacea, Decapoda) // J. of Invertebrate Pathology. Vol. 94. P. 77–83.

УДК 597.553.2:597-12

МИКРОБИОТА КИШЕЧНИКА ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕЙ НА ЛРЗ КАМЧАТКИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Елена Александровна Устименко, Валентина Владимировна Гончарова, Галина Дмитриевна Якушева

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, ustimenko.e.a@kamniro.ru, goncharova.v.v@kamniro.ru, iakusheva.g.d@kamniro.ru

Аннотация. В работе представлены результаты по составу кишечной микрофлоры молоди нерки и кижуча с ЛРЗ Камчатки, полученные с использованием классических бактериологических методов. Определены доминирующие группы микроорганизмов и обозначены перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова: микрофлора кишечника, тихоокеанские лососи, бактериальные инфекции, пробиотик

INTESTINAL MICROBIOTA OF PACIFIC SALMON IN KAMCHATKA HATCHERIES: PROSPECTS FOR RESEARCH

Elena A. Ustimenko, Valentina V. Goncharova, Galina D. Iakusheva

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, ustimenko.e.a@kamniro.ru, goncharova.v.v@kamniro.ru, iakusheva.g.d@kamniro.ru

Abstract. Preliminary results on the composition of the intestinal microflora of juvenile sockeye salmon and coho salmon from salmon hatcheries of Kamchatka were obtained using classical bacteriological methods. Dominant groups of microorganisms were identified and prospects for further research were figured out.

Keywords: intestinal microflora, Pacific salmon, bacterial infections, probiotic

Кишечную микробиоту рыб изучали со второй половины 20 века многие исследователи (Trust, Sparrow, 1974; Horsley, 1977; Austin, Al-Zahrani, 1988; Munro et al., 1994; Ringo et al., 1995; Spanggaard et al., 2000). Внимание к этому вопросу обусловлено важнейшей ролью микроорганизмов кишечника в процессе пищеварения, а также в формировании естественного иммунитета рыб (Westerdahl et al., 1991; Austin et al., 1995; Bly et al., 1997). Знание качественного и количественного состава кишечной микрофлоры позволяет получить целостное представление о состоянии здоровья гидробионтов. При отсутствии или недостатке «полезной» микрофлоры нарушается баланс микробиоты кишечника и повышается риск развития бактериальных инфекций (Tannock, Savage, 1974; Lencner et al., 1984; Klaasen et al., 1990).

Бактериальные инфекции — одна из наиболее часто встречаемых проблем в аквакультуре. При возникновении болезней традиционно используют антибиотики, но их применение негативно влияет как на микробиоту рыб, так и на окружающую среду. Поэтому в последние годы появилась тенденция отказа от синтетических антимикробных средств и замена их пробиотиками — препаратами на основе живых микробных культур, используемых для коррекции микробного ценоза при профилактике и лечении ряда заболеваний. Механизм действия пробиотиков направлен прежде всего на вытеснение патогенной микрофлоры кишечника и, как следствие, нормализацию обмена веществ у рыб, улучшение усвоения корма, повышение резистентности организма (Воробьев, Лыкова, 1999; Юхименко и др., 2002, 2009).

Одним из первых пробиотиков в отечественном рыбоводстве стал лечебно-профилактический препарат «Субалин» («СУБ-ПРО») на основе живых бактерий *Bacillus subtilis*. Он обладает антагонистическим действием в отношении широ-

кого спектра патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, высокой ферментативной активностью, позволяющей регулировать и стимулировать пищеварение, а также имеет противоаллергенные и антитоксические свойства (Бычкова и др., 2007). Этот пробиотик активно используется в промышленном рыбоводстве с 1997 г. Положительные результаты его применения получены при выращивании рыб разного вида и возраста. Препарат особенно успешно используется в прудовом рыбоводстве при культивировании карпа и растительноядных рыб.

В 2010 г. «СУБ-ПРО» в экспериментальных целях применили при подращивании кеты на лососевом рыбоводном заводе Кеткино (КЛРЗ), но значимого терапевтического эффекта по результатам опыта не получили (Устименко, Винник, 2011). Поэтому целесообразность использования известных пробиотиков на камчатских ЛРЗ для профилактики и борьбы с бактериальными инфекциями остается недоказанной.

Для выбора эффективного пробиотического средства необходима информация о составе микробиоты кишечника здоровых рыб и его изменений при различных заболеваниях. В этой работе представлены первые результаты по составу кишечной микрофлоры молоди нерки и кижуча с ЛРЗ Камчатки, полученные классическими бактериологическими методами, определены доминирующие группы микроорганизмов и обозначены перспективы дальнейших исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В июне 2021 г. классическими бактериологическими методами исследовали кишечники 15 экз. молоди тихоокеанских лососей рода *Oncorhynchus* — нерки и кижуча (*O. nerka, O. kisutch*) с трех ЛРЗ (Озерки (ОЛРЗ), Паратунский экспериментальный (ПЭЛРЗ), Вилюйский (ВЛРЗ). Рыб отбирали перед выпуском в базовые водоемы. Средняя длина и масса сеголеток нерки с ОЛРЗ составили 4,4 ± 0,2 см и 0,8 ± 0,1 г, сеголеток кижуча с ПЭЛРЗ — 6,9 ± 0,3 см и 3,7 ± 0,6 г, годовиков кижуча с ВЛРЗ — 9,8 ± 0,8 см и 10,5 ± 1,8 г соответственно. При подращивании молоди на всех ЛРЗ использовали корма “Aller Aqua” (Дания) с размером крупки, соответствующим стадии развития рыб.

При отборе проб руководствовались опытом зарубежных исследователей (Huber et al., 2004; Hagi et al., 2004; Kim et al., 2007). Асептически собирали кишечники от 5 экз. рыб с каждого ЛРЗ и объединяли их в один пул. Отобранный материал гомогенизировали, разводили питательным бульоном NB (Nutrient broth) в соотношении 1:9 (разведение 10^{-1}), выдерживали 24 ч при температуре 22 °С, затем делали десятикратные разведения до 10^{-3} и высевали по 100 мкл на бактериологические среды: триптон-соевый агар (TSA) для выделения широкого спектра микроорганизмов, тиосульфат-цитратный агар с сахарозой и желчью (TCBS) для выявления вибрионов, Эндо и лактозный агар с тергитолом (TTX) для энтеробактерий, агар (MRS) и лактобакагар (LA) для лактобацилл. Посевы инкубировали от 3 до 10 сут при 22 °С. Подсчитывали количество колоний каждого типа из каждого разведения. Для дальнейшей идентификации отбирали только чистые культуры микроорганизмов. Таксономическую принадлежность бактерий определяли по морфологическим, культуральным и биохимическим свойствам с использованием тест-системы API 20E (BioMerieux, Франция). Результат выражали как число колониеобразующих единиц (КОЕ) каждого рода/семейства/группы в одном грамме кишечника.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из кишечников молоди лососей изолировали псевдомонад (*Pseudomonas fluorescens, Pseudomonas* sp.), стафилококков (*Staphylococcus xylosus, S. hominis, Staphylococcus* sp.), энтерококков *Enterococcus*, энтеробактерий Enterobacteriaceae и лактобактерий *Lactobacillus*. Кроме этого, выделили дрожжи и группу грамотрицательных палочек, таксономическую принадлежность которых установить не удалось. Самый широкий спектр микроорганизмов выявили у кижуча с ПЭЛРЗ, где были представлены практически все вышеназванные микроорганизмы, а наиболее скудный — с ВЛРЗ (табл. 1).

От рыб со всех ЛРЗ выделили стафилококков и псевдомонад. Лактобацилл обнаружили только в кишечнике кижуча с ПЭЛРЗ. У нерки с ОЛРЗ отмечали значительное количество дрожжей (табл. 1).

Таблица 1. Состав кишечной микрофлоры молоди нерки и кижуча с ЛРЗ Камчатки
Table 1. The composition of the intestinal microflora of juvenile sockeye salmon and coho salmon from the hatcheries of Kamchatka

Род/семейство/группа микроорганизмов	ОЛРЗ (нерка)	ВЛРЗ (кижуч)	ПЭЛРЗ (кижуч)
Pseudomonas	$> 1\times10^6$	6×10^4	$> 1\times10^5$
Enterobacteriaceae	0	2×10^4	3×10^5
Staphylococcus	$> 1\times10^6$	8×10^5	3×10^6
Enterococcus	$> 1\times10^6$	0	$1{,}1\times10^6$
Lactobacillus	0	0	1×10^6
Не идентифицированные грамотрицательные палочки	0	6×10^3	$> 1\times10^6$
Дрожжи	$1{,}5\times10^5$	0	0

Известно, что микробиота кишечника рыб в аквакультуре формируется в основном за счет микроорганизмов, поступающих с кормами и обитающих в окружающей среде (Liu et al., 2021). На всех камчатских ЛРЗ используют корма одного производителя, и микробный спектр воды различается незначительно (Устименко, 2012). Поэтому состав кишечной микробиоты должен быть однотипным у всех подращиваемых лососей. Несмотря на это, микрофлора кишечников молоди кижуча с разных заводов отличалась по наличию/отсутствию энтерококков и лактобацилл (табл. 1).

У рыб с ОЛРЗ и ВЛРЗ в кишечниках преобладали условно-патогенные бактерии вида *P. fluorescens*. Эти микроорганизмы широко распространены в окружающей среде, часто присутствуют у здоровых гидробионтов, но способны вызывать заболевания в условиях стресса при снижении иммунитета хозяина. Преобладание этого вида псевдомонад в кишечнике культивируемых рыб может стать причиной вспышки псевдомоноза при перепаде температур, снижении уровня растворенного кислорода в воде, высокой плотности посадки в рыбоводных емкостях (Ведемейер и др., 1981; Извекова и др., 2007). Даже незначительные стрессовые ситуации — рутинные рыбоводные мероприятия: чистка бассейнов, профилактические обработки, мечение и т.д. — могут привести к быстрому размножению патогенной микрофлоры у рыб и их гибели. Внезапное повышение отхода молоди кижуча неоднократно регистрировали на ВЛРЗ. Причину установить не удавалось. Так как параметры окружающей среды и качество кормов при этом были в норме, то возникает гипотеза о снижении иммунитета рыб вследствие изменения количественного и/или качественного состава микробиоты кишечника рыб. Такие нарушения могли стать следствием использования антибиотиков, например, для профилактики инфекционных заболеваний.

Чтобы исключить дополнительные риски возникновения заболеваний и гибели рыб, альтернативой антибиотикам на камчатских ЛРЗ должны стать пробиотические препараты, созданные на основе бактерий, обладающих антагонистическим действием в отношении патогенов (Смирнов и др., 1993). Эксперимент по применению «СУБ-ПРО» в течение двух недель в 2010 г. показал, что препарат не оказывал существенного влияния на количественный и качественный состав микрофлоры кишечника, уровень выживаемости и изменение массы тела сеголеток кеты. Известно, что для бактерий *B. subtilis* оптимальная температура 37 °С, а на КЛРЗ она не превышает 4 °С, поэтому они не проявляли ферментативной активности, и эффекта от применения препарата не было (Устименко, 2012). На остальных ЛРЗ температура воды в выростных бассейнах от 4 до 10 °С, то есть далека от оптимальной, в связи с этим пробиотик «СУБ-ПРО» не подходит для профилактики и лечения молоди тихоокеанских лососей.

Большинство используемых в настоящее время в аквакультуре коммерческих пробиотических организмов были изолированы от теплокровных животных (Nayak, 2010). Однако эффективность препарата значительно повысится, если он будет произведен на основе «полезной» микрофлоры тех животных, для которых предназначен. Поэтому направление наших исследований — выявление грамположительных бактерий, которые присутствуют в кишечной микробиоте здоровых рыб и обладают антагонистическим действием в отношении патогенных агентов. Такие бактерии могут стать основой пробиотического препарата для молоди тихоокеанских лососей на ЛРЗ Камчатки. Предварительные результаты показали, что лактобациллы, которые часто используют в качестве пробиотических организмов для рыб (Balcazar et al., 2006, 2010; Kesacordi-Watson et al., 2008), есть в кишечной микрофлоре кижуча с ПЛРЗ и, напротив, отсутствуют у рыб с ВЛРЗ, что подтверждает гипотезу о нарушении баланса кишечной микробиоты как возможной причине снижения резистентности и внезапной гибели молоди кижуча на ВЛРЗ.

Так как в нашем исследовании использованы классические бактериологические методы, то не было возможности выявить полный спектр кишечной микробиоты. На питательных средах удается культивировать только аэробные и факультативно-анаэробные гетеротрофные организмы (т. е. приблизительно 3–10% от общей микрофлоры) (Pond et al., 2006; Dehler et al., 2017). Молекулярные методы позволят детально изучить микробиоту молоди лососей и определить грамположительные организмы, поддерживающие гомеостаз бактериоценоза кишечника рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования микробиоты кишечников молоди тихоокеанских лососей наиболее скудный спектр кишечной микрофлоры зарегистрирован у кижуча с ВЛРЗ, а наиболее широкий — у этого же вида рыб с ПЭЛРЗ.

Доминирующими группами бактерий, изолированными из кишечников всех обследованных рыб, были псевдомонады и стафилококки.

Бактерии рода *Lactobacillus,* выявленные у кижуча с ПЭЛРЗ, могут стать одними из кандидатов на роль пробиотических организмов для молоди лососей на ЛРЗ Камчатки.

Перспектива дальнейших исследований микробиоты кишечника — определить бактериоценоз здоровых рыб, выявить микроорганизмы, входящие в состав «полезной» микрофлоры, которые можно будет использовать в качестве пробиотиков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Бычкова Л.И., Юхименко Л.Н., Ходак А.Г. 2007. Пробиотический препарат «СУБ-ПРО» (Субалин): профилактика и лечение бактериальных болезней рыб // Рыбоводство. № 2. С. 33–35.

Ведемейер Г.А., Мейер Ф.П., Смит Л. 1981. Стресс и болезни рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 127 с.

Воробьев А.А., *Лыкова Е.А.* 1999. Бактерии нормальной микрофлоры: биологические свойства и защитные функции // Журнал микробиологии. № 6. С. 102–105.

Извекова Г.И., Извеков Е.И., Плотников А.О. 2007. Симбионтная микрофлора рыб разных экологических групп // Изв. РАН. Сер. Биол. № 6. С. 1–10.

Смирнов В.В., Резник С.Р., Сорокулова И.Б. 1993. Современные представления о механизмах лечебно-профилактического действия пробиотиков и бактерий рода *Bacillus* // Микробиол. журнал. Вып. 55 (4). С. 92–112.

Устименко Е.А. 2012. Бактериальные инфекции у тихоокеанских лососей при искусственном воспроизводстве на Камчатке. Автореф. дис. … канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 23 с.

Устименко Е.А., Винник Н.Г. 2011. Применение пробиотика «СУБ-ПРО» при выращивании молоди кеты на лососевом рыбоводном заводе (Камчатка) // Матер. III Межд. конф. «Проблемы патологии, иммунологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов». Борок. С. 263–266.

Юхименко Л.Н., Бычкова Л.И., Гаврилин К.В. 2002. Испытания лечебного комбикорма с субалином в рыбхозах Московской области // Рыбное хозяйство. Сер. Болезни гидробионтов в аквакультуре: Аналит. и реф. инф. М.: ВНИЭРХ. Вып. 2. С. 18–27.

Юхименко Л.Н., Бычкова Л.И., Зюкин А.Н., Климов А.В. 2009. Профилактика бактериальной геморрагической септицемии с использованием «Субалина» (на примере ОАО «Бисеровский рыбокомбинат» // Рыбное хозяйство. № 1. С. 86–88.

Austin B., Al-Zahrani A.M.J. 1988. The effect of antimicrobial compounds on the gastrointestinal microflora of rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson // J. of Fish biology. Vol. 33. P. 1–14.

Austin B., Stuckey L.F., Robertson P.A.W., Effendi I., Griffith D.R.W. 1995. A probiotic strain of *Vibrio alginolyticus* effective in reducing diseases caused by *Aeromonas salmonicida*, *Vibrio anguillarum* and *Vibrio ordalii* // J. of Fish Diseases. № 18. P. 93–96.

Balcazar J., Blas I., Ruiz-Zarzuela I., Cunningham D., Vendrell D., Musquiz J. 2006. The role of probiotics in aquaculture // Veterinary microbiology. Vol. 114. P. 171–183.

Balcazar J., Lee N., Pintado J., Planas M. 2010. Phylogenetic characterization and *in situ* detection of bacterial communities associated with seahorses (*Hippocampus guttulatus*) in captivity // Systematic and Appl. microbiology. Vol. 33. P. 71–77.

Bly J.E., Quiniou S.M.A., Lawson L.A., Clem L.W. 1997. Inhibition of *Saprolegnia* pathogenic for fish by *Pseudomonas fluorescens* // J. of Fish Diseases. Vol. 20. P. 35–40.

Dehler C.E., Secombes C.J., Martin S.A.M. 2017. Environmental and physiological factors shape the gut microbiota of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) // Aquaculture. Vol. 467. P. 149–157.

Hagi T., Tanaka D., Iwamura Y., Hoshino T. 2004. Diversity and seasonal changes in lactic acid bacteria in the intestinal tract of cultured freshwater fish // Aquaculture. Vol. 234. P. 335–346.

Horsley R.W. 1977. A review of the bacterial flora of teleosts and elasmobranchs, including methods for its analysis // J. of Fish biology. № 10. P. 529–553.

Huber I., Spanggaard B., Appel K.F., Rossen L., Nielsen T., Gram L. 2004. Phylogenetic analysis and *in situ* identification of the intestinal microbial community of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) // J. of Appl. microbiology. Vol. 96. P. 117–132.

Kesacordi-Watson A., Kaspar H., Lategan M., Gibson L. 2008. Probiotics in aquaculture: the need, principles and mechanisms of action and screening processes // Aquaculture. Vol. 274. P. 1–14.

Kim D.H., Brunt J., Austin B. 2007. Microbial diversity of intestinal contents and mucus in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // J. of Appl. microbiology. Vol. 102. P. 1654–1664.

Klaasen H., Koopman J., Beynen A. 1990. Effects of age, strain and social hierarchy on colonization of autochthonous, segmented, filamentous bacteria in the ileum of mice // Microecology and therapy. Vol. 20. P. 17–20.

Lencner A.A., Lencner Ch.P., Mikelsaar M.E. 1984. The quantitative composition of the gut lactoflora before and after cosmic flights of different duration // Die nahrung. Vol. 28. P. 607–613.

Liu Ch., Zhao L., Shen Y. 2021. A systematic review of advances in intestinal microflora of fish // Fish Physiol. Biochem. Vol. 47. P. 2041–2053.

Munro P.D., Barbour A., Birkbeck T.H. 1994. Comparison of the gut bacterial flora of start-feeding larval turbot under different conditions // J. of Appl. bacteriology. Vol. 77. P. 560–566.

Nayak S.K. 2010. Role of gastrointestinal microbiota in fish // Aquaculture research. Vol. 41. P. 1553–1573.

Pond M.J., Stone D.M., Alderman D.J. 2006. Comparison of conventional and molecular techniques to investigate the intestinal microflora of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquaculture. Vol. 261. P. 194–203.

Ringo E., Strom E., Tabachek J.A. 1995. Intestinal microflora of salmonids. A review // Aquaculture research. Vol. 26. P. 773–789.

Spanggaard B., Hube I., Nielsen J., Nielsen T., Appel K.F., Gram L. 2000. The microflora of rainbow trout: a comparison of traditional and molecular identification // Aquaculture. Vol. 182. P. 1–15.

Tannock G.W., Savage D.C. 1974. Influence of dietary and environmental stress on microbial populations in the murine gastrointestinal tract // Infection and immunity. Vol. 9. P. 591–598.

Trust T.J., Sparrow R.A.H. 1974. The bacterial flora in the alimentary tract of freshwater salmonid fishes // Can. J. of Microbiology. Vol. 20. P. 1219–1228.

Westerdahl A., Olsson J.C., Kjelleberg S. 1991. Isolation and characterization of turbot (*Scophthalmus maximus*)-isolated associated bacteria with inhibitory effects against *Vibrio anguillarum* // Applied and environmental microbiology. Vol. 57. P. 2223–2228.

УДК 597.553.2:639.3.(292.518)

ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ РОСТА МОЛОДИ КИЖУЧА НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ПАРАТУНСКОМ ЛОСОСЕВОМ РЫБОВОДНОМ ЗАВОДЕ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В 2019 ГОДУ

Елена Ивановна Кальченко[1], Софья Борисовна Городовская[1], Андрей Павлович Горбань[2] Наталья Геннадьевна Винник[2], Александр Анатольевич Попков[3]

[1]Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, kalchenko.e.i@kamniro.ru
[2]Северо-Восточный филиал Главного бассейнового управления по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов (Севвострыбвод), Петропавловск-Камчатский, Россия, GorbanAP@sv.glavrybvod.ru
[3]Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО), Владивосток, Россия, aleksandr.popkov@tinro-center.ru

Аннотация. В работе выясняются причины снижения скорости роста молоди кижуча на Паратунском заводе в 2019 г. Для этого проанализированы многолетние данные по росту рыб и температурному режиму их выращивания в 2014–2020 гг. Проведена оценка химического состава искусственных кормов, использованных на заводе. Исследовано физиологическое состояние заводской молоди по биохимическим и гистологическим показателям. Установлено, что значительная задержка роста сеголетков кижуча на Паратунском заводе в 2019 г. обусловлена температурным режимом подращивания рыб и, возможно, качеством комбикормов.

Ключевые слова: аквакультура, молодь кижуча, рост, температура, комбикорма, биохимические и гистологические показатели

CAUSES OF A DECREASE IN THE GROWTH RATE OF JUVENILE COHO SALMON AT THE EXPERIMENTAL SALMON HATCHERY PARATUNSKY (SOUTH-EAST KAMCHATKA) IN 2019

Elena I. Kalchenko[1], Sofia B. Gorodovskaya[1], Andrey P. Gorban[2], Natalya G. Vinnik[2], Aleksandr A. Popkov[3]

[1]Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, kalchenko.e.i@kamniro.ru
[2]North-Eastern Branch of the Main Basin Administration for Fisheries and Conservation of Aquatic Biological Resources (SevvostRybvod), Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, GorbanAP@sv.glavrybvod.ru
[3]Pacific Branch of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok, Russia, aleksandr.popkov@tinro-center.ru

Abstract. The causes of a decrease in the growth rate of juvenile coho salmon at the Paratunsky hatchery in 2019 are clarified in this work. Long-term data on the growth of fish and the temperature regime of their rearing in 2014–2020 are analyzed. An assessment of the chemical composition of artificial feed used at the plant was carried out. The physiological state of hatchery juveniles was studied in terms of biochemical and histological parameters. It has been found that a significant delay in the growth of juvenile coho salmon at the Paratunsky hatchery in 2019 is associated with the temperature regime of rearing and the quality of the feed.

Keywords: aquaculture, coho salmon fry, growth, temperature, feed, biochemical and histological parameters

В бассейне р. Паратунки функционирует экспериментальный Паратунский лососевый рыбоводный завод (ЭПЛРЗ), ориентированный на подращивание молоди кеты и кижуча. Ежегодно выпуск кижуча с ЭПЛРЗ составляет более 600 тыс. экз. молоди. Технологические возможности рыбоводного завода (подогрев речной воды с помощью тепла геотерм) позволяют выращивать рыб при температурном режиме 5–11 °С и получать к началу июля сеголетков кижуча средней массой 5 г, свойственной годовикам кижуча естественных популяций. В 2019 г. скорость роста молоди кижуча на ЭПЛРЗ была значительно ниже по сравнению с этим показателем в 2014–2018 гг. и в 2020 г., а нормативная навеска

(5 г) была достигнута только в конце июля. Цель данной работы — установить причины задержки роста молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2019 г. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– проанализировать данные по росту молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг.;

– проанализировать данные по температурному режиму выращивания рыб в 2014–2020 гг.;

– оценить химический состав комбикормов, использованных на ЭПЛРЗ;

– исследовать физиологическое состояние молоди кижуча, выращенной в 2019 г., по биохимическим и гистологическим показателям.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили данные по биотехнике выращивания молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг., любезно предоставленные сотрудниками Севвострыбвода.

Пробы искусственных кормов на биохимический анализ были доставлены с ЭПЛРЗ в июле 2019 г. Сбор проб заводской молоди кижуча на биохимический и гистологический анализ проводили на ЭПЛРЗ в конце июля 2019 г., а дикой молоди — в р. Паратунка в мае–июне 2019 г. (до выпуска заводских рыб).

В работе использованы методы, общепринятые в ихтиологических, биохимических и гистологических исследованиях.

Количественную оценку роста молоди кижуча проводили по показателю удельной скорости роста согласно формуле:

$$C = \frac{\ln W_n - \ln W_0}{n} \times 100\%,$$

где W_0 и W_n — первоначальная и конечная масса выращиваемых рыб;

n — число суток в расчетном периоде выращивания (Чугунова, 1959).

Данные о содержании протеина и углеводов в импортных комбикормах “Aller Aqua” заимствованы на сайте (http://aquafeed.ru/korma).

Анализ содержания протеина в отечественных комбикормах «ЭСКЛ» выполнен в ООО НИЦ «Столичный эксперт» (г. Москва) по методу Кьельдаля (ГОСТ 32044:1-2012) (Заключение эксперта № А40/19 от 16.03.2020). Данные о содержании углеводов в кормах «ЭСКЛ» взяты из технических каталогов ООО НПК «Агротех» (Новосибирская область).

За содержание белков в мышечной ткани молоди кижуча принимали вес сухого обезжиренного остатка (СОВ), который, как известно, состоит у рыб более чем на 90% из белка (Шульман, 1972).

Экстракцию липидов из анализируемых образцов кормов отечественного («ЭСКЛ») и импортного (“Aller futura”, “Aller performa”) производства, а также рыб проводили смесью растворителей хлороформ-этанол (2:1 по объему) по методу Фолча (Folch et al., 1957). Общее содержание липидов устанавливали гравиметрически. Затем липиды подвергали омылению, жирные кислоты (ЖК) переводили в форму метиловых эфиров и проводили их очистку с помощью препаративной тонкослойной хроматографии в бензоле (Carreau, Dubacq, 1978). Метиловые эфиры ЖК анализировали методом газожидкостной хроматографии на хроматографе “Shimadzu GC-16A” (Япония) с пламенно-ионизационным детектором, снабженным капиллярной колонкой (30 м × 0,35 мм) с фазой Supelcowax-10, при температуре 190 °С. ЖК идентифицировали по индексам Ковача (Christie, 1988). Концентрацию ЖК рассчитывали с помощью базы обработки данных C-R4A Chromatopac.

Данные о составе ЖК корма “Aller Aqua” (марки “Aller futura”) заимствованы из литературных источников (Баштовой и др., 2017).

Калорийность комбикормов (ккал/кг) вычисляли по формуле:

$$Q = 5{,}6Б + 9{,}3Ж + 4{,}1У,$$

где Б — количество протеина в корме; Ж — жира; У — углеводов (Скляров, 2008).

Определение перекисного числа жира в комбикормах «ЭСКЛ» выполнено инженером-исследователем лаборатории химического анализа КамчатНИРО В.Д. Свириденко по общепринятой методике (Лазаревский, 1955).

Для гистологического анализа печени молоди кижуча, выращенной на ЭПЛРЗ в 2019 г., зафиксировано 20 рыб в жидкости «Буэн». Фиксированные кусочки печени проводили через спирты, хлороформ, заливали в парафин (Ромейс, 1954). Препараты окрашивали гематоксилином по Гейденгайну (Волкова, Елецкий, 1982). Всего изготовлено 60 препаратов (около 180 срезов). Состояние печени исследуемых рыб оценивали по следующим показателям: число жировых включений; количество ядер клеток паренхимы печени, приходящихся на контрольную площадь препарата; количество митотических делений; частота митозов. Изучение полученных препаратов производили под световым микроскопом Nikon Eclipse Ci-E при увеличении 20×40. Микрофотографии с гистологических срезов рыб делали с помощью цифровой видеокамеры Olimpus DP26.

Статистическую обработку данных проводили с помощью компьютерной программы MS Excel XP (Microsoft Inc.). Достоверность различий средних

величин определяли по t-критерию Стьюдента (Лакин, 1980).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2014–2016 гг. и в 2020 г. на ЭПЛРЗ использовали комбикорма известной датской фирмы “Aller Aqua”, в основном марок “Aller futura” и “Aller performa”. В 2018 г. в начале подращивания (в марте) кормили молодь кижуча импортными кормами, затем с конца апреля перешли на отечественные корма «ЭСКЛ» производства ООО НПК «Агротех» (Новосибирская область). В 2019 г. использовали только комбикорма «ЭСКЛ» (табл. 1).

В 2019 г. скорость роста молоди кижуча составляла 2,3% в сутки и уступала таковой в остальные годы — 2,4–2,9% в сутки. При выращивании рыб на отечественном корме были отмечены низкие кормовые коэффициенты (меньше единицы) и лучшая выживаемость (99,1%) (табл. 1).

Динамика роста молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг. представлена на рисунке 1.

Средняя масса тела рыб во второй декаде июня 2018 г. и 2019 г. уже отставала от таковой в остальные годы. К установленной дате выпуска (10 июля) масса молоди в 2018 г. и 2019 г. составляла соответственно 4,5 г и 4,0 г, то есть не достигала нормативной навески (5 г). Таким образом, в 2018–2019 гг. на ЭПЛРЗ произошла задержка роста молоди кижуча.

Хорошо известно, что рост рыб зависит, в первую очередь, от температуры воды, количественного и качественного состава пищи. Потенциальные возможности роста реализуются только при выборе оптимальных для вида температур выращивания. Диапазон оптимальных температур для роста сеголетков кижуча находится в пределах 9–11 °С (Басов, 1986; Тарасюк, Тарасюк, 2015). На ЭПЛРЗ рыб начинают подращивать в марте при температуре воды 5 °С, затем с мая ее постепенно поднимают до оптимальных значений (9–11 °С). Как видно из рисунка 2, в мае 2019 г. не было произведено повышения температуры воды для интенсификации роста молоди кижуча, как в остальные годы.

Так, в период с 10 мая по 10 июня 2019 г. температура воды составляла 6,0–6,1 °С. В этот период в 2014 г. температура изменялась в пределах 9,2–10,8 °С, 2015 г. — 10,6–13,2 °С, 2016 г. — 8,6–11,0 °С, 2018 г. — 6,3–7,9 °С, 2020 г. — 6,6–9,5 °С. Необходимо отметить,

Таблица 1. Производственные результаты выращивания молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг.
Table 1. Results of hatchery rearing of juvenile coho salmon at the experimental Paratunka SH in 2014–2020

Показатели	Вид комбикорма					
	Aller Aqua	Aller Aqua	Aller Aqua	Aller Aqua + ЭСКЛ	ЭСКЛ	Aller Aqua
	2014	2015	2016	2018	2019	2020
Средняя масса, г						
начальная	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,34
конечная	5,91	6,13	5,10	5,10	5,53	5,19
Температурный режим, Т °С	4,9–10,9	4,9–13,4	4,6–11,0	5,1–11,4	5,0–11,9	5,1–9,5
Средняя температура, Т °С	8,1	9,8	8,3	7,5	7,1	6,9
Плотность посадки, тыс. шт./м^2	3,6	3,2	3,0	3,3	3,7	3,2
Среднесуточный прирост, %	2,7	2,9	2,8	2,4	2,3	2,4
Кормовой коэффициент	0,9	1,1	0,8	0,9	0,80	1,0
Выживаемость, %	98,7	98,4	98,5	98,8	99,1	96,7
Продолжительность подращивания, сутки	122	112	112	122	137	112

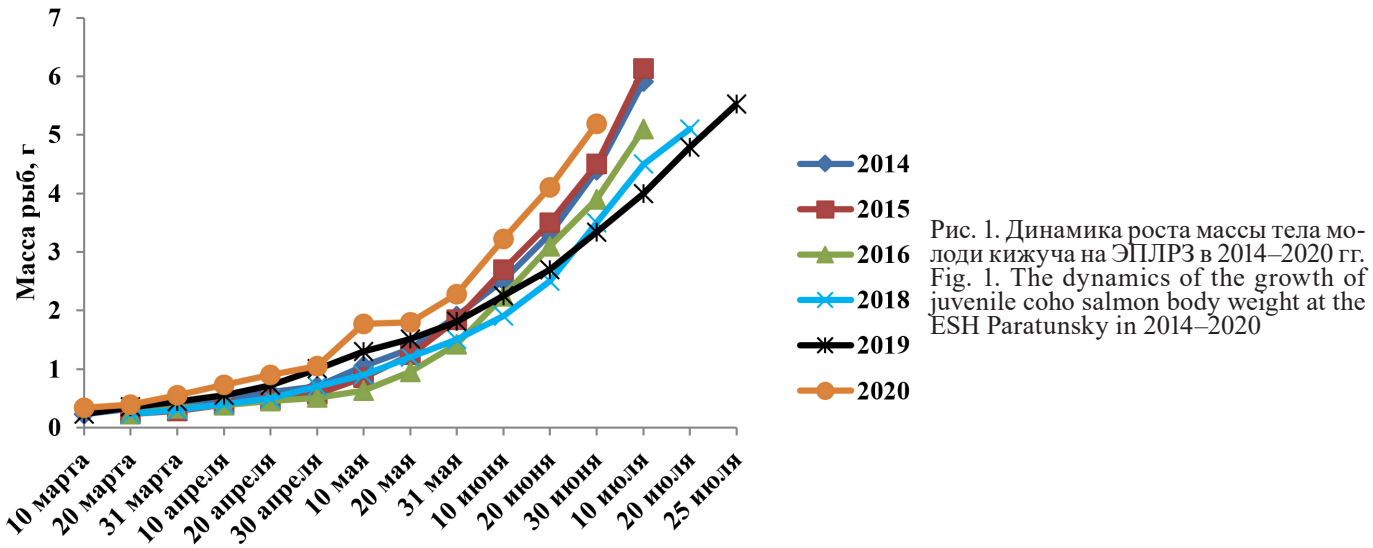

Рис. 1. Динамика роста массы тела молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг.
Fig. 1. The dynamics of the growth of juvenile coho salmon body weight at the ESH Paratunsky in 2014–2020

что температура воды в мае 2018 г. была выше, чем в 2019 г., но не достигала оптимума. В 2019 г. повышение температуры выращивания рыб произведено только после первой декады июня. При своевременном подъеме температуры воды в мае до оптимальных значений (9–11 °С) молодь кижуча достигла бы нормативной навески (5 г) гораздо раньше.

На снижение темпа роста молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2019 г. могло повлиять качество использованных в этом году комбикормов отечественного производства «ЭСКЛ». Для проверки этого предположения проведена оценка их химического состава и физиологического состояния молоди кижуча по биохимическим и гистологическим показателям.

Комбикорма «ЭСКЛ», согласно сертификатам качества, имели в своем составе следующие компоненты: мука рыбная, крилевая (из гаммарусов), пшеничная, рыбий жир, продукты переработки зерна (пшеничный глютен, жмых зародыша пшеничного), дрожжи пивные, витамины, микроэлементы, добавки незаменимых аминокислот лизина и метионина, биопрепаратов (Био-Мос, Салколи Комби Драй).

Важным показателем качества искусственных кормов является их химический состав. Он дает общее представление о потенциальной биологической ценности рационов. Особое внимание уделяется содержанию в них протеина, липидов, углеводов, незаменимых аминокислот и жирных кислот. Анализ химического состава диет, использованных на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг., показал, что количество протеина в кормах «ЭСКЛ» (с размером гранул 0,3–0,6 мм и 0,9–1,6 мм) было ниже на 3,2–5,3%, а жира — выше на 2,1–2,3%, чем в кормах “Aller Aqua” (табл. 2).

Наибольшее количество углеводов отмечено в импортных кормах. Калорийность обоих рационов была в среднем сопоставима.

Липиды искусственных кормов являются важным источником энергии для рыб. Пищевая ценность липидов определяется составом ЖК. В составе ЖК комбикорма «ЭСКЛ» была более высокой концентрация мононенасыщенных (32,8–41,6% от суммы ЖК) и полиненасыщенных (31,2–42,8%), но низкой — насыщенных ЖК (21,9–24,6%), по сравнению с таковыми в импортных диетах, соответственно 35,5%, 35,9% и 28,6% (табл. 3).

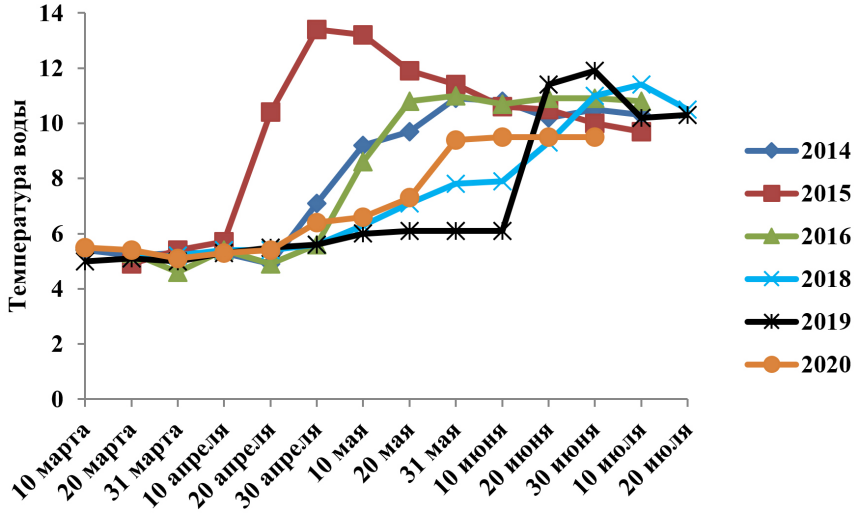

Рис. 2. Температура воды (Т °С) при подращивании молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг.
Fig. 2. The water temperature (T °C) in the course of rearing juvenile coho salmon at the ESH Paratunsky in 2014–2020

Таблица 2. Химический состав комбикормов, использованных на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг. (в % сухого веса)
Table 2. Chemical composition of compound feeds used at the EPSH in 2014–2020 (% in dry weight)

Вид корма	Протеин	Жир	Углеводы	Калорийность, ккал/кг
ЭСКЛ	55,8–58,7	9,1–14,2	5,2–14,1	4347–5024
Aller Aqua	59,0–64,0	6,8–12,1	13,0–14,0	4790–4962

Таблица 3. Некоторые характеристики состава ЖК общих липидов комбикормов, использованных на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг. (в % от суммы всех жирных кислот)
Table 3. Some characteristics of the composition of FAs of total lipids of the compound feeds used at the EPSH in 2014–2020 (% in the sum of all fatty acids)

ЖК	Вид корма	
	ЭСКЛ	Aller Aqua
18:2ω-6 (линолевая)	10,1–21,3	13,5
20:5ω-3 (эйкозапентаеновая)	5,7–6,0	7,1
22:6ω-3 (докозагексаеновая)	5,7	8,6
∑насыщенных	21,9–24,6	28,6
∑мононенасыщенных	32,8–41,6	35,5
∑полиненасыщенных	31,2–42,8	35,9
∑ω-3	14,8–15,3	21,1
∑ω-6	11,4–23,1	14,1
Отношение ∑ω-3/∑ω-6	0,6–1,3	1,5

Соотношение насыщенных и полиненасыщенных ЖК в кормах «ЭКСЛ» указывало на то, что в них присутствовало меньше липидов животного происхождения, чем в кормах “Aller Aqua”. При оценке состава ЖК искусственных кормов необходимо обращать внимание на содержание полиненасыщенных ЖК (ПНЖК) ω-3 и ω-6 типов, влияющих на рост и физиологическое состояние молоди лососей. Основными источниками ПНЖК ω-3 типа (особенно эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) в лососевых комбикормах являются такие компоненты, как рыбная мука и рыбий жир, а ω-6 типа (особенно линолевой) — растительные масла. В кормах «ЭСКЛ» доля ПНЖК ω-3 типа составляла 14,8–15,3% от суммы всех ЖК и была ниже, чем в импортных кормах — 21,1%. Ранее японские исследователи установили, что уровень ПНЖК ω-3 типа в рационах для молоди лососей должен составлять не менее 20% (Watanabe, 1982). Корма «ЭСКЛ» не отвечали этому требованию. Содержание ПНЖК ω-6 типа (11,4–23,1%) было в среднем выше в отечественных комбикормах, чем в импортных (14,1%). Это обстоятельство указывало на то, что в корме «ЭСКЛ» находилось больше липидов растительного происхождения. Эффективность использования энергии рациона на рост молоди лососей зависит от соотношения в нем сумм ПНЖК ω-3 и ω-6 типов ($\sum\omega$-3/$\sum\omega$-6), которое рекомендуется устанавливать в определенных пределах и учитывать при разработке липидных добавок в искусственные диеты. Для комбикормов, предназначенных для форели, определено оптимальное соотношение этих кислот в пределах 1,6–1,8 (Сергеева и др., 1987). По литературным данным, соотношение $\sum\omega$-3/$\sum\omega$-6 кислот в отечественных кормах, разработанных для молоди тихоокеанских лососей, составляет 2,2–2,4 (Пономарев, Пономарева, 2003; Баштовой и др., 2017). Анализируемый показатель в комбикормах «ЭСКЛ» составлял 0,6–1,3, “Aller Aqua” — 1,5, и был в обоих рационах ниже оптимального уровня.

Результаты анализа состава ЖК корма «ЭСКЛ» указывали на недостаток в его составе ингредиентов рыбного происхождения (рыбная мука и рыбий жир) и избыток — растительного по сравнению с таковыми в импортных кормах. Необходимо отметить, что рыбная мука является основным источником полноценного протеина, сбалансированного по незаменимым аминокислотам, в искусственных рационах для молоди лососей. При недостатке полноценного протеина в кормах происходит снижение скорости роста рыб (Сорвачев, 1982; Кальченко, 2010). В настоящее время все зарубежные и отечественные предприятия производят комбикорма для молоди лососей с частичной заменой рыбного белка растительным с целью их удешевления и из-за дефицита качественной рыбной муки (Остроумова и др., 2016; Баштовой и др., 2017). Как известно, в животных белках присутствуют все незаменимые аминокислоты, тогда как в растительных — некоторые из них отсутствуют или содержатся в малых количествах, не удовлетворяющих физиологические потребности рыб (Halver, 1976; Сорвачев, 1982). Для сбалансированности аминокислотного состава рационов с растительным протеином добавляют синтетические аналоги дефицитных незаменимых аминокислот. Так, в кормах «ЭСКЛ», согласно сертификатам качества, присутствуют добавки незаменимых аминокислот лизина и метионина, что свидетельствует о восполнении их дефицита. Использование большого количества растительного сырья в диетах для тихоокеанских лососей физиологически неоправданно, поскольку по типу питания они являются хищниками, и их пищеварительная система адаптирована к перевариванию большого количества белков животного происхождения (Сорвачев, 1982; Пономарев, Пономарева, 2003).

О качестве липидов комбикормов судят по такому показателю, как перекисное число, которое характеризует наличие в них токсических продуктов окисления жирных кислот. Пробы отечественного корма, взятые перед выпуском молоди кижуча с завода (в конце июля), имели перекисное число, равное 0,4% йода, тогда как по действующим нормативам для личинок и молоди лососей оно не должно превышать 0,2–0,3% йода.

Для оценки физиологической полноценности комбикормов используют биохимические и гистологические показатели молоди лососей (Кальченко и др., 2009).

Биохимические показатели рыб являются индикаторами их обеспеченности в элементах питания (Сорвачев, 1982). При оценке биохимических показателей молоди лососей искусственного воспроизводства за условную норму принимают биохимический состав молоди естественных популяций (Пономарев, Пономарева, 2003; Кальченко и др., 2009). У сеголетков кижуча, выращенных на комбикорме «ЭСКЛ», среднее содержание белков в мышечной ткани составляло 17,6 ± 0,2%, липидов — 3,2 ± 0,1% от сырой массы ткани, что достоверно не отличалось от аналогичных показателей у одноразмерной молоди кижуча естественного воспроизводства из р. Паратунки, соответственно 17,0 ± 0,4% и 2,8 ± 0,2%, то есть соответствовало норме (табл. 4).

Сравнение состава ЖК общих липидов мышечной ткани у рыб заводского и естественного воспроизводства указывало на их значительные различия. В составе ЖК у молоди, выращенной на комбикорме «ЭСКЛ», присутствовал более высокий уровень мононенасыщен-

ных кислот (41,2% от суммы всех ЖК), но низкий — полиненасыщенных кислот (32,1%), по сравнению с таковыми у кижуча естественных популяций из р. Паратунки, соответственно 18,4% и 49,1% (табл. 5).

Доля ПНЖК ω-3 типа у заводских рыб (16,8% от суммы всех ЖК) была в 2,3 раза ниже, а ПНЖК ω-6 типа (13,4%) — выше, чем у кижуча естественного происхождения из р. Паратунки, соответственно 39,4% и 5,0%. Отношение ∑ω-3/∑ω-6 ЖК у заводской молоди составляло 1,3, а у дикой молоди — 7,9, что еще раз указывает на более высокий уровень в последних физиологически важных ПНЖК ω-3 типа. Отличительной особенностью состава ЖК заводского кижуча являлось избыточное содержание линолевой (10,2%) и недостаточное эйкозапентаеновой (2,9%) и докозагексаеновой (10,4%) ЖК по сравнению с таковыми у молоди естественного воспроизводства — 2,2%, 7,9% и 24,2% соответственно. Известно, что состав ЖК рыб определяется таковым в потребляемой пище (Акулин, 1969). Низкий уровень ПНЖК ω-3 типа у заводских сеголетков кижуча обусловлен их содержанием в кормах «ЭСКЛ», что может отрицательно влиять на жизнестойкость молоди после выпуска с завода в естественные водоемы, поскольку ПНЖК ω-3 типа являются ключевым инструментом в системе адаптаций рыб к условиям окружающей среды (Сидоров, 1983; Мурзина и др., 2012).

Одним из критериев оценки физиологической полноценности комбикормов являются гистологические показатели печени рыб (Факторович, 1961). Исследование состояния печени кижуча перед выпуском с ЭПЛРЗ показало, что она имела красно-коричневый цвет и плотную консистенцию, гепатосоматический индекс составлял меньше 2%. Клетки имели неправильную форму, ядра округлые (рис. 3).

Таблица 4. Содержание белков и липидов в мышечной ткани молоди кижуча заводского и естественного воспроизводства (в % от сырой массы ткани)
Table 4. Content of proteins and lipids in the muscle tissue of juvenile hatchery and wild coho salmons (% in the raw tissue weight)

Длина тела, см (АС)	Масса тела, г	Белок, % сыр. массы	Липиды, % сыр. массы	К-во рыб, экз.
Заводская молодь (ЭПЛРЗ)				
6,8±0,1 6,0–7,3	4,4±0,2 3,6–5,3	17,6±0,2 16,4–18,3	3,2±0,1 2,9–3,4	25
Естественная молодь (р. Паратунка)				
7,0±0,1 6,2–7,5	4,7±0,2 3,8–5,7	17,0±0,4 15,6–19,7	2,8±0,2 1,9–4,3	25

Примечание: в числителе — средние значения, в знаменателе — максимальные и минимальные значения показателей.

Таблица 5. Некоторые характеристики состава ЖК общих липидов мышечной ткани молоди кижуча заводского и естественного воспроизводства (в % от суммы всех ЖК)
Table 5. Some characteristics of the content of fatty acids of same lipids of muscle tissue of juvenile hatchery and wild coho salmons (% in the sum of all fatty acids)

ЖК	Заводская молодь (ЭПЛРЗ)	Дикая молодь (р. Паратунка)
18:2ω-6 (линолевая)	10,2	2,2
20:5ω-3 (эйкозапентаеновая)	2,9	7,9
22:6ω-3 (докозагексаеновая)	10,4	24,2
∑насыщенных	24,8	26,9
∑мононенасыщенных	41,2	18,4
∑полиненасыщенных	32,1	49,1
∑ω-3	16,8	39,3
∑ω-6	13,4	5,0
Отношение ∑ω-3/∑ω-6	1,3	7,9

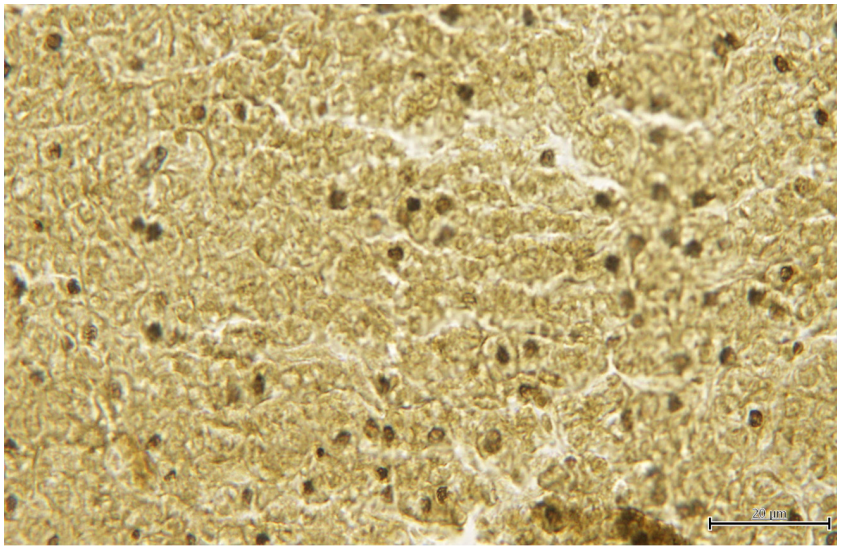

Рис. 3. Структура печени у заводской молоди кижуча в 2019 г.
Fig. 3. The structure of liver in the hatchery juvenile coho salmon in 2019

Паренхима пронизана кровеносными сосудами, в которых видны форменные элементы крови. Жировые включения не встречались. Среднее количество ядер, приходящихся на контрольную площадь препарата, составляло 25,8, диаметр ядер — 6,0 мкм, число делящихся ядер — 5,0, частота клеточного митоза — 2,2% (табл. 6).

По данным Т.И. Толстяк (1997), в норме у заводской молоди тихоокеанских лососей число ядер на контрольной площади препарата составляет 17–29, диаметр ядер — 5–7 мк, частота клеточного митоза — 12–17% (цит. по Леман, 1999). Значения исследованных нами показателей, за исключением частоты клеточного митоза, находились в пределах нормы. Низкая частота митозов в гепатоцитах молоди кижуча, на наш взгляд, обусловлена наличием в комбикормах марки «ЭСКЛ» биопрепаратов (Био-Мос, Салколи Комби Драй), предназначенных для подавления роста патогенной микрофлоры в кормах и желудочно-кишечном тракте рыб и повышения их иммунитета. Имеются экспериментальные данные, что введение в корма для молоди чавычи иммуностимулятора (препарата низкомолекулярной ДНК из молок лососей) наряду с ускорением роста рыб вызывает торможение митоза в клетках их печени (Кальченко и др., 2001).

При анализе состояния печени молоди кижуча был рассмотрен такой морфологический показатель, как структурная гетерогенность ядер гепатоцитов. Клетки печени в зависимости от характера и состава субклеточных структур могут иметь темное ядро, но светлую цитоплазму, или светлое ядро, но темную цитоплазму. Обнаружено наличие некоторой доли темных ядер на препарате печени молоди кижуча, выращенной на ЭПЛРЗ в 2019 г. По литературным данным, гепатоциты с темными ядрами функционально малоактивны, их появление свидетельствует о низкой биосинтетической активности печени (Семенов, 1980). Такое функционирование печени указывает на замедление роста и развития организма рыб. Выявленные нами изменения в состоянии гепатоцитов являются обратимыми при переходе молоди на естественное питание после выпуска с завода в речной бассейн (Ferguson, 1995; Гаврюсева, 2006). Таким образом, можно утверждать, что патологических изменений в микроструктуре печени кижуча, выращенного на кормах «ЭСКЛ», не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что снижение скорости роста молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2019 г. связано с температурным режимом выращивания рыб и, возможно, качеством комбикормов.

Сравнительный анализ температурного режима подращивания молоди кижуча на ЭПЛРЗ в 2014–2020 гг. показал, что в мае 2019 г. не было произведено повышения температуры воды для интенсификации роста рыб, как в остальные годы. При своевременном подъеме температуры воды до оптимальных значений (9–11 °С) в мае, а не во второй декаде июня, молодь кижуча достигла бы нормативной навески (5 г) гораздо раньше.

Сравнение данных о химическом составе комбикормов, использованных на ЭПЛРЗ, позволило оценить их качество. Результаты анализа состава ЖК комбикормов отечественного производства «ЭСКЛ» свидетельствуют о недостатке в нем ингредиентов рыбного происхождения (рыбная мука и рыбий жир) и избытке — растительного по сравнению с таковыми в диетах импортного производства “Aller Aqua”. Недостаточное содержание в составе комбикормов «ЭСКЛ» рыбных компонентов — источников полноценного протеина и ПНЖК ω-3 типа в рационах, предназначенных для выращивания лососевых рыб, может влиять на темп роста молоди кижуча.

Установлено влияние качества корма «ЭСКЛ» на физиологическое состояние сеголетков кижуча. Уровень ПНЖК ω-3 типа в мышечной ткани заводской молоди в два раза ниже, чем у дикой молоди, что может отрицательно влиять на жизнестойкость рыб после выпуска с завода в естественные водоемы. При исследовании гистологии печени кижуча обнаружено наличие темных ядер в гепатоцитах, которое указывает на замедление роста рыб.

Результаты работы могут быть использованы для оптимизации биотехники воспроизводства кижуча на ЭПЛРЗ и в перспективе при разработке и совершенствовании рецептур отечественных комбикормов для молоди тихоокеанских лососей при выращивании в условиях ЛРЗ Камчатки.

Таблица 6. Характеристика состояния печени заводской молоди кижуча
Table 6. Condition characteristics of the liver of juvenile hatchery coho salmon

Цвет печени	Площадь жировых капсул	Число просмотренных полей зрения	Число ядер в одном поле зрения	Диаметр ядер, мк	Число делящихся ядер	Частота митозов, %
Красно-коричневый	0	30	25,8±0,1	6,0±0,1	5,0±0,1	2,2

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Акулин В.Н. 1969. Жирнокислотный состав фосфолипидов мышц и печени красной *Oncorhynchus nerka* и зоопланктона из оз. Дальнего // Вопр. ихтиологии. Вып. 6 (59). Т. 9. № 4. С. 1094–1103.

Басов Ю.С. 1986. Биологические основы лососеводства на геотермальных водах // Биология моря. № 2. С. 32–38.

Баштовой А.Н., Ярочкин А.П., Валова В.Н., Тимчишина Г.Н., Павель К.Г., Якуш Е.В., Павловский А.М. 2017. Сравнительная оценка стартовых традиционных и ферментированных комбикормов для молоди тихоокеанских лососей // Изв. ТИНРО. Т. 191. С. 223–234.

Волкова О.В., Елецкий Ю.К. 1982. Основы гистологии с гистологической техникой. М.: Медицина. 304 с.

Гаврюсева Т.В. 2006. Морфологические изменения у молоди тихоокеанских лососей из естественных водоемов и на рыбоводных заводах Камчатки: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Владивосток. ИБМ ДВО РАН. 24 с.

ГОСТ 32044:1-2012. Межгосударственный стандарт «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина». Часть 1. Метод Къельдаля.

Кальченко Е.И. 2010. Оценка физиолого-биохимических показателей молоди кеты и чавычи при искусственном воспроизводстве: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Астрахань: АГТУ. 21 с.

Кальченко Е.И., Гаврюсева Т.В., Юрьева М.И. 2009. Физиолого-биохимические показатели молоди кеты при выращивании на импортных комбикормах // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. 12. С. 58–71.

Кальченко Е.И., Городовская С.Б., Касьяненко Ю.И., Эпштейн Л.М. 2001. Влияние биологически активных веществ на рост и физиологическое состояние молоди чавычи (*Oncorhynchus tschawytscha*) // Вопр. рыболовства. Т. 2, № 2 (6). С. 357–366.

Лазаревский А.А. 1955. Технохимический контроль рыбообрабатывающей промышленности. М.: Пищ. пром-сть. 520 с.

Лакин Г.Ф. 1980. Биометрия. М.: Высшая школа. 293 с.

Леман В.Н. 1999. Обеспечить контроль за эстуарно-речным периодом жизни заводской и дикой молоди лососей и определить возврат заводских производителей в базовые реки ЛРЗ «Озерки» и «Малкинский» // Отчет о НИР. М.: РООИ «Центр ПИ КОД». Рег. № 6762. 202 с.

Мурзина С.А., Нефедова З.А., Немова Н.Н. 2012. Влияние жирных кислот (маркеров пищевых источников рыб) на механизмы адаптации в условиях высоких широт (Обзор) // Тр. Карельского науч. центра РАН. Петрозаводск. № 2. С.18–25.

Остроумова И.Н., Костюничев В.В., Лютиков А.А., Богданова В.А., Шумилина А.К., Данилова Т.П., Козьмина А.В., Филатова Т.А., Мельникова М.С. 2016. Разработка физиологически полноценных кормов для молоди сиговых рыб (Coregonidae) и сравнительная оценка их с импортными кормами // Вопр. рыболовства. Т. 17, № 3. С. 335–350.

Пономарев С.В., Пономарева Е.Н. 2003. Технологические основы разведения и кормления лососевых рыб в индустриальных условиях. Астрахань: АГТУ. 188 с.

Ромейс Б.А. 1954. Микроскопическая техника. М.: Иностр. литра. 718 с.

Семенов В.В. 1980. О зависимости темпа роста вителлогенных ооцитов сиговых рыб от функционального состояния клеток печени // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. № 3. С. 98–107.

Сергеева Н.Г., Жданов Ю.И., Лемперт О.Т. 1987. Влияние незаменимых жирных кислот и витаминов в корме РГМ–5В на обмен веществ радужной форели // Рыбное хозяйство. № 8. С. 41–44.

Сидоров В.С. 1983. Экологическая биохимия рыб. Липиды. Л.: Наука. С. 18–37.

Скляров В.Я. 2008. Корма и кормление рыб в аквакультуре. М.: ВНИРО. 150 с.

Сорвачев К.Ф. 1982. Основы биохимии питания рыб. М.: Лег. и пищ. пром-сть. 247 с.

Тарасюк Е.В., Тарасюк С.Н. 2015. Оценка скорости роста молоди кижуча *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792) в различных температурных условиях // Тр. ВНИРО. Т. 158. С. 121–135.

Факторович К.А. 1961. Опыт оценки некоторых диет для лосося по данным гистологического анализа печени // Изв. Гос. НИИ оз. и реч. рыб. хоз-ва. Л. Т. 51. С. 37–46.

Чугунова Н.И. 1959. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М.: АН СССР. 164 с.

Шульман Г.Е. 1972. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищ. пром-сть. С. 119–300.

Carreau J.P., Dubacq J.P. 1978. Adaptation of macro-scale method to the micro-scale for fatty-acid methyl transesterification of biological lipid extracts // J. Chromatograph. Vol. 151. No. 3. P. 384–390.

Christie W.W. 1988. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas-chromatography – a reappraisal // J. Cromatogr. A. Vol. 447. № 2. P. 305–314.

Ferguson H.W. 1995. Systematic pathology of fish. A text and atlas of comparative tissue responses in diseases of Teleosts. Iowa: Iowa State Univ. Press Ames. 267 p.

Folch J., Lees M., Sloane-Stanley G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues (for brain, liver and muscle) // J. Biol. Chem. Vol. 226. № 1. P. 497–509.

Halver J.E. 1976. Formulating practical diets for fish // J. Fish. Res. Board Can. Vol. 33. № 4. P. 1032–1039.

Watanabe T. 1982. Lipid nutrition in fish // J. Com. Biochem. and Physiol. 73. B. 1. P. 3–15.

УДК 639.3.07

ОПЫТ ВЫРАЩИВАНИЯ РЕМОНТНО-МАТОЧНОГО СТАДА СУДАКА (*SANDER LUCIOPERCA*) В САДКАХ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Анатолий Анатольевич Лютиков, Александр Евгеньевич Королев, Алла Константиновна Шумилина, Максим Михайлович Вылка

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ГосНИОРХ им. Л.С. Берга), Санкт-Петербург, Россия, tokmo@mail.ru

Аннотация. Приводятся сведения о выращивании младших ремонтных групп судака (двух- и трехлеток) в садках на искусственных кормах при естественном температурном режиме (Северо-Западный рыбохозяйственный бассейн). Лучшие результаты были получены при следующих плотностях посадки и норме кормления: для двухлеток (1. – 1+) — 0,38 кг/м^2 и 2% от массы тела, для трехлеток (2. – 2+) — 1,4 кг/м^2 и 1,5% соответственно. В таких условиях средняя индивидуальная масса двухлеток за период выращивания увеличилась с 10,4 до 121 г, трехлеток — с 85,7 до 282 г, выживаемость составила 93 и 88% для двух- и трехлеток соответственно, кормовой коэффициент — 1,1 и 1,8 соответственно. Наименьшие значения кормового коэффициента были при температуре воды 20–25 °С: 0,8 — для двухлеток и 1,4 — для трехлеток. Среди трехлеток были самки с гонадами третьей стадии зрелости, чья абсолютная плодовитость составила 33,7–50,9 тыс. икринок.

Ключевые слова: судак, *Sander lucioperca*, ремонтно-маточное стадо, садки, искусственные корма

EXPERIENCE OF CULTIVATION PIKEPERCH (S*ANDER LUCIOPERCA*) BROODSTOCK IN CAGES IN THE LENINGRAD REGION (RUSSIA)

Anatoly A. Lyutikov, Alexander E. Korolev, Alla K. Shumilina, Maksim M. Vylka

Saint-Petersburg Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (GosNIORKh them. L.S. Berga), Saint-Petersburg, Russia, tokmo@mail.ru

Abstract. The paper provides information about in cage cultivation of the pikeperch broodstock (two- and three-year-old fish) on artificial feeds under natural temperatures. Cultivation was carried out in the Leningrad region (North-Western fishery basin). The best results were obtained when keeping juveniles in rearing densities and feeding norms as: for 2-year-old (1. – 1+) individuals – 0.38 kg/m^2 and 2% from the body weight, for 3-year-old (2. – 2+) individuals – 1.4 kg/m^2 and 1.5% respectively. The average individual weight of two-year-old fish increased in such conditions from 10.4 to 121 g, and of 3-year-old fish – from 85.7 to 282 g, the survival was 93 and 88% for 2-year-old and 3-year-olf fish respectively, with the feed ratio for the whole period of the experiment 1.1 and 1.8. The lowest feed ratio values were observed under the water temperatures of 20–25 °C: 0.8 – for 2-year-olds and 1.4 – for 3-year-olds. Among the three-year-olds there were females with gonads of the third stage of maturity, with the absolute fecundity of 33.7–50.9 thous. eggs.

Keywords: pikeperch, *Sander lucioperca*, broodstock, cages, artificial feed

Разработка технологии создания маточных стад судака в аквакультуре является крайне актуальной и обусловлена, в первую очередь, повсеместным снижением промысловых запасов этой ценной рыбы и нехваткой посадочного материала для целей воспроизводства (Ruuhijärvi, Hyvärinen, 1996; Кудерский, 2000; Шурухин и др., 2016). Маточные стада судака, сформированные в искусственных условиях (прудовых или индустриальных), позволяют существенно упростить технологию получения потомства. Работа с дикими производителями судака сопряжена со значительными трудностями, связанными с их отловом из естественных водоемов, доставкой к месту содержания перед нерестом и самим процессом выдерживания и нереста ввиду их высокой чувствительности к различным механическим воздействиям, приводящим к стрессу и последующей гибели рыб.

До конца XX в. в нашей стране, Европе и США прудовая технология содержания и выращивания ремонтно-маточных стад (РМС) судака и его молоди была

основной. Однако использование прудового метода для формирования и содержания РМС судака в Северо-Западном регионе РФ имеет ряд ограничений, связанных, в первую очередь, с малым количеством прудов, подходящих для разведения судака. Другим ограничением выступает непродолжительный период, когда условия благоприятны для роста молоди и производителей судака и для развития в водоемах кормовой базы, соответствующей его пищевым потребностям. Кроме того, содержание РМС судака в прудах требует постоянного обеспечения их необходимым количеством корма — рыб доступного размера, при недостатке которого наблюдается замедление роста производителей и ремонта, и, как следствие, снижение плодовитости производителей (Михеев и др., 1970; Полтавчук, 1965; Steffens, 1996; Ариков и др., 2017). Отлов и заготовка живого корма (рыб доступного размера) приводит к дополнительным затратам и повышает себестоимость содержания РМС судака.

Более эффективными в данном случае могут быть индустриальные технологии создания РМС, например, в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) с применением искусственных кормов. Успешный опыт формирования маточных стад судака в УЗВ в России был осуществлен в Калининградской области в 2007–2010 гг. (Хрусталев, Дельмухаметов, 2012). В результате трехлетних исследований в бассейнах УЗВ на искусственных кормах были выращены производители судака средней массой от 0,89 до 1,45 кг, которые по своим физиологическим показателям и качеству половых продуктов не уступали судаку Куршского залива.

О возможности получать половозрелых особей и осуществлять их нерест в УЗВ сообщают также западные авторы (Zakęś, 2007; Zakęś et al., 2013), однако технологическая схема и биотехнические показатели формирования РМС в работах, посвященных этой теме, не приводятся. К настоящему времени нет четких представлений об условиях окружающей среды (фотопериоде, температуре, качестве воды и т. д.), необходимых для формирования, содержания и доведения до созревания производителей судака в УЗВ, а также диетах, соответствующих их потребностям (Ljubobratović et al., 2017; Khendek et al., 2018). Данные, которые должны применяться для разработки технологии формирования РМС судака в УЗВ, ограничены, и, как правило, основаны на протоколах, разработанных для американского судака *Stizostedion (= Sander) vitrium* и обыкновенного окуня *Perca fluviatilis* (Summerfelt, 1996; Fontaine et al., 2015). Тем не менее сравнение в эксперименте одноразмерных и одновозрастных производителей судака (полученных из одного потомства), выращенных в прудах и УЗВ, показали существенные отличия в степени созревания гонад: самки из прудов демонстрировали более продвинутые стадии оогенеза (Ben Ammar et al., 2015; Khendek et al., 2018). Авторы связывают подобные различия со слабой стимуляцией созревания внешними факторами (температурный режим, фотопериод) в условиях заводского содержания.

Таким образом, с одной стороны, технология формирования маточного стада в УЗВ имеет неоспоримые преимущества перед прудовой технологией, так как весь производственный цикл рыбы содержатся в полностью контролируемых условиях при высоких плотностях посадки и обеспеченности кормом. С другой, имеется ряд существенных недостатков, в первую очередь — нарушение репродуктивного цикла, связанное с отсутствием необходимых экологических условий содержания и знаний о пищевых потребностях половозрелых рыб, сказывающихся на качестве половых продуктов и потомства. Кроме того, лимитирующим фактором широкого внедрения в практику рыбоводства технологии выращивания РМС судака в УЗВ является дороговизна оборудования и системы жизнеобеспечения рыб, а также риск возникновения сбоя в работе системы, способного привести к массовой гибели объектов культивирования.

Учитывая перечисленные выше недостатки, западные исследователи предлагают выращенных в УЗВ производителей судака перемещать на созревание и нерест в пруды (Policar et al., 2013; Blecha et al., 2016), обосновывая это важностью естественных (природных) факторов среды в созревании судака и получении качественных, физиологически полноценных половых продуктов и потомства.

Альтернативой комбинированной технологии «УЗВ → пруды» могла бы стать технология формирования РМС судака в садках, расположенных в естественных водоемах. В рыбоводной практике первый опыт выращивания судака в садках был осуществлен в России в 60-е годы XX в. (Михеев и др., 1970). Ремонтное стадо формировали из отловленных в естественных водоемах половозрелых рыб. Технология заключалась в содержании и кормлении производителей в плавучих садках. В качестве корма использовали мелкую частиковую рыбу средней массой 15–25 г, которую подсаживали в садки 1 раз в неделю. В целом, опыт выращивания судака в садках был неудачным, поскольку судаки не потребляли корм в виде мертвой или погибшей рыбы со дна садков, а заготовка живого корма оказалась трудоемкой и до-

рогостоящей. Как отметили авторы, опыт оказался экономически не выгодным. Судак не был адаптирован к искусственному корму, что приводило к массовой смертности и низкому темпу роста рыб в садках. Позже к аналогичному выводу пришли зарубежные исследователи (Beyerle, 1975; Antalfi, 1979).

С развитием в конце XX в. – начале XXI в. индустриальных технологий аквакультуры появилась возможность выращивания судака полностью (за исключением раннего личиночного периода) на искусственных экструдированных кормах. До настоящего времени в литературе нет информации о формировании РМС судака в садках на искусственных диетах. Поэтому сведения о товарном садковом выращивании судака могут стать основой для разработки технологии создания и эксплуатации РМС судака в садках.

Первый удачный опыт садкового культивирования судака на искусственных диетах показал принципиальную возможность новой биотехнологии выращивания судака до товарной массы. Так, например, молодь судака выращивали на искусственном корме в УЗВ до средней массы 200 г и далее пересаживали в садки, установленные в озере (Wedekind, 2004). Выращивание осуществляли с мая по октябрь при естественном температурном режиме. На второй год выращивания судак достигал массы 690 г, на третий — 1560 г.

Имеются также данные по экспериментальному выращиванию товарного судака в садках на искусственных форелевых кормах от сеголеток средней массой 3,5–10 г (Knösche и др., 2005; Bódis, Bercsényi, 2009). В опытах немецких и венгерских специалистов в первый год выращивания при температуре воды 10–24 °С молодь достигала средней массы 40 г (при плотности посадки до 170 экз./м^2), на второй год — 200 г (70 экз./м^2), на третий — 600–650 г (8 экз./м^2), на четвертый — 1000–1500 г (5 экз./м^2).

По сравнению с технологией выращивания судака в УЗВ при постоянной температуре воды, близкой к оптимальной для роста, темп роста судака в садках замедленный. Тем не менее индустриальная садковая биотехнология имеет очевидные преимущества перед содержанием стад судака в УЗВ. Садковое выращивание РМС в естественных водоемах исключает необходимость корректировки температурного фона, фотопериода, качества воды и др. Также садковая технология является менее затратной и более доступной для существующих рыбоводных хозяйств.

Первый опыт формирования РМС судака в садках с использованием искусственных кормов в России был начат в 2019 г. специалистами Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» в ходе проведения прикладных научных исследований в 2018–2020 гг. (Лютиков, Королев, 2019, 2020, 2021). Опыт по выращиванию молоди судака с начальной средней массой 6 г показал высокий процент выживания рыб в садках после первой зимовки — 91,4%. На второй год выращивания двухлетки достигли средней массы 85,7 г при выживании 88,8%. По своим размерам двухлетки судака соответствовали размерам молоди из естественных водоемов, что в целом указывает на перспективность формирования РМС судака в садках на искусственном корме.

В настоящей работе приведены результаты работ по формированию ремонтно-маточного стада судака в садковых условиях на искусственных кормах при естественном температурном режиме.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работу выполняли в 2021 г. на базе рыбоводного хозяйства ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский район Ленинградской области). Материалом для выполнения исследований послужили младшие ремонтные группы судака (возраст 1. – 1+ и 2. – 2+ года), полученные в ходе исследований 2019–2020 гг. (Лютиков, Королев, 2020, 2021) и переведенные в возрасте 0+ на искусственный корм. Молодь выращивали и содержали в зимний период в делевых садках. С начала декабря по середину апреля (всего 165 сут.) судаки зимовали в двух садках площадью 25 м^2 и глубиной 5 м с плотностью посадки сеголеток 29 экз./м^2, двухлеток — 24 экз./м^2. Шаг ячеи в садках, соответственно, составлял 8 и 12 мм. Температура воды в указанный период находилась в диапазоне 0,2–1,0 ºС. Кормление судака подо льдом не осуществляли. После зимовки судаки были пересажены в делевые садки размером 2×2×2 м с шагом ячеи для двухлеток в 12 мм, для трехлеток — 16 мм. При выращивании судака в период нагула в качестве корма использовали коммерческие корма Biomar Inicio Plus (белок — 48%, жир — 18%) и Raisio Royal Hercules (белок — 46%, жир — 26%). Суточная норма кормления составляла от 1,5 до 4,0% от массы тела молоди.

Условия и схема содержания рыб при выращивании в летне-осенний период приведены в таблице 1, температурный режим — на рисунке 1.

Для контроля роста раз в месяц проводили регулярные прижизненные взвешивания небольших выборок молоди из садков (не менее 30 экз. из каждого варианта опыта). Среднесуточный прирост (ССП) рассчитывали по уравнению Винберга (1956) (ССП = [ln(конечная масса) – ln(начальная масса)] / (сутки × 100)). Выживаемость оценивали на основании учета погибших рыб, которых по мере их появления удаляли из садков.

Таблица 1. Исследуемые параметры, условия содержания рыб и схема опыта по выращиванию младших ремонтных групп судака двух возрастов в садках на искусственных кормах
Table 1. Examined indices, rearing conditions and scheme of the experimental rearing of younger remont groups of zander of two ages in cages on artificial feeds

Возраст при посадке, год	1.			2.		
Вариант опыта, №	1	2	3	4	5	6
Средняя начальная масса, г		9,1			72,4	
Плотность посадки, шт./садок	166	166	332	114	114	228
Исследуемый параметр:	контроль			контроль		
– нормы кормления, % *	2	4	2	1,5	3	1,5
– плотность посадки, экз./м^2 **	41,5	41,5	83	19	19	38
Условия содержания:		садки			садки	
площадь, м^2		4			6	
глубина погружения, м		2			2	
ячея дели, мм		5→12			10→16	

Примечание: * — нормы кормления для РМС судака, выращиваемого в садках, ранее не разработаны и были определены в ходе выполнения исследований в 2021 г.; ** — в силу видовой специфики поведения судак концентрируется у дна садка, в связи с чем плотность посадки рассчитана на единицу площади, а не объема.
Note: * – the norms of feeding for the YRGs of zander rearing in cages were not worked out before, and have been set in the course of the research in 2021; ** – in view of its specifics behaviour, the fish have been aggregating nesr the bottom of the cages, and this is why the rearing density was calculated per a unit of square instead per a unit of volume.

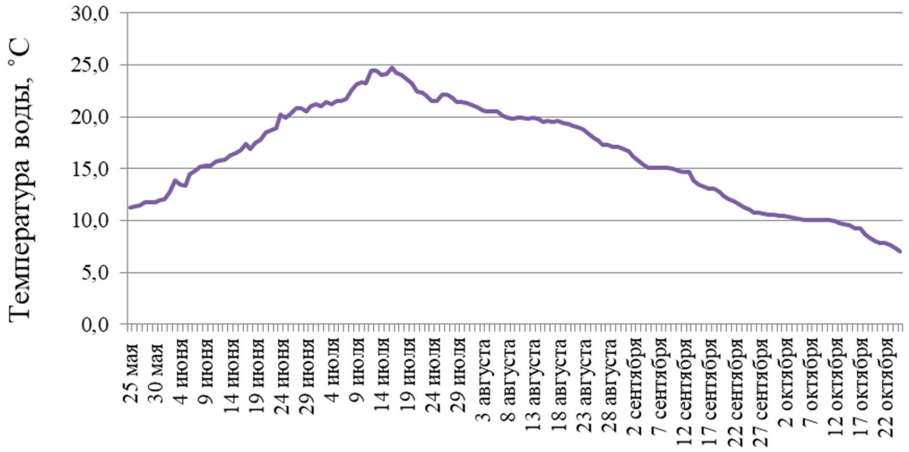

Рис. 1. Среднесуточная температура воды в садках в мае–октябре 2021 г.
Fig. 1. The average daily water temperature in the cages in May–October 2021

Гематологические исследования выполняли согласно «Методическим указаниям по проведению гематологического обследования рыб» (1999).

Аналитическую работу проводили в лаборатории аквакультуры Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (ГосНИОРХ им. Л.С. Берга). Биохимические показатели молоди определяли по стандартным методикам (Инструкция.., 1984), содержание витамина С в теле рыб — методом титрования экстракта витамина в соляной кислоте реактивом Тильманса (Князева, 1979).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Зимнее содержание молоди судака в садках показало, что она хорошо переносит длительное выдерживание без кормления в условиях низких температур. С декабря по апрель молодь существенно потеряла в весе. У годовиков средняя индивидуальная масса снизилась на 34%, у двухгодовиков — на 26%. Аналогичная потеря массы тела отмечалась у двухгодовиков судака во время их зимовки в пруду — 28% (масса в начале зимовки 78,1 г, после 56,0 г).

Очевидно, что такое снижение массы тела рыб в зимний период произошло в основном за счет расходования жира, что подтверждается результатами аналитических исследований. Например, жирность тела годовиков в сыром веществе составляла весной в среднем 2,57%, осенью — 7,41%. Несмотря на существенную потерю массы тела, рыбоводно-биологические и физиологические показатели младших ремонтных групп судака после зимовки были в пределах нормы (табл. 2).

С распалением льда в середине апреля при температуре воды около 3 °С было начато кормление судака. К 25 мая средняя масса годовиков выросла с 6,9 до 9,1 г, двухгодовиков — с 63,4 до 72,4 г. Размер кормовых гранул в этот период составлял для годовиков 1,5 мм, для двухгодовиков — 2,5 мм. Суточную норму кормления повышали от 0,4 до 1%.

В летне-осенний период судака выращивали в соответствии с условиями эксперимента, приведенными в таблице 1.

Темп роста судака, содержащегося в садках с разными плотностями посадки и режимами кормления, отражен на рисунке 2, рыбоводно-биологические параметры выращенных рыб — в таблице 3.

Более высоким темпом роста и низким коэффициентом потребления корма на всем протяжении

Таблица 2. Рыбоводно-биологические и физиологические характеристики ремонтных групп судака после зимовки (зола, белок и жир были определены в сыром веществе)
Table 2. Biological and physiological characteristics of rearing the remont groups of zander after wintering (ash, protein and fat were measured in the raw substance)

Показатели	Ед. изм.	Возраст ремонтной группы, лет	
		1.	2.
Масса:			
– в начале зимовки	г	10,4	85,7
– в конце зимовки	г	6,9	63,4
Плотность посадки	экз./м^2	29	24
Выживаемость	%	92	97
Сухое вещ-во	%	25,2	30,8
Зола	%	4,4	2,9
Белок	%	16,7	15,1
Жир	%	2,6	8,8
Витамин С	мкг/г	76,5	69,9
Гемоглобин	г/л	65,2	68,7
Эритроциты	млн/мкл	2,3	2,2

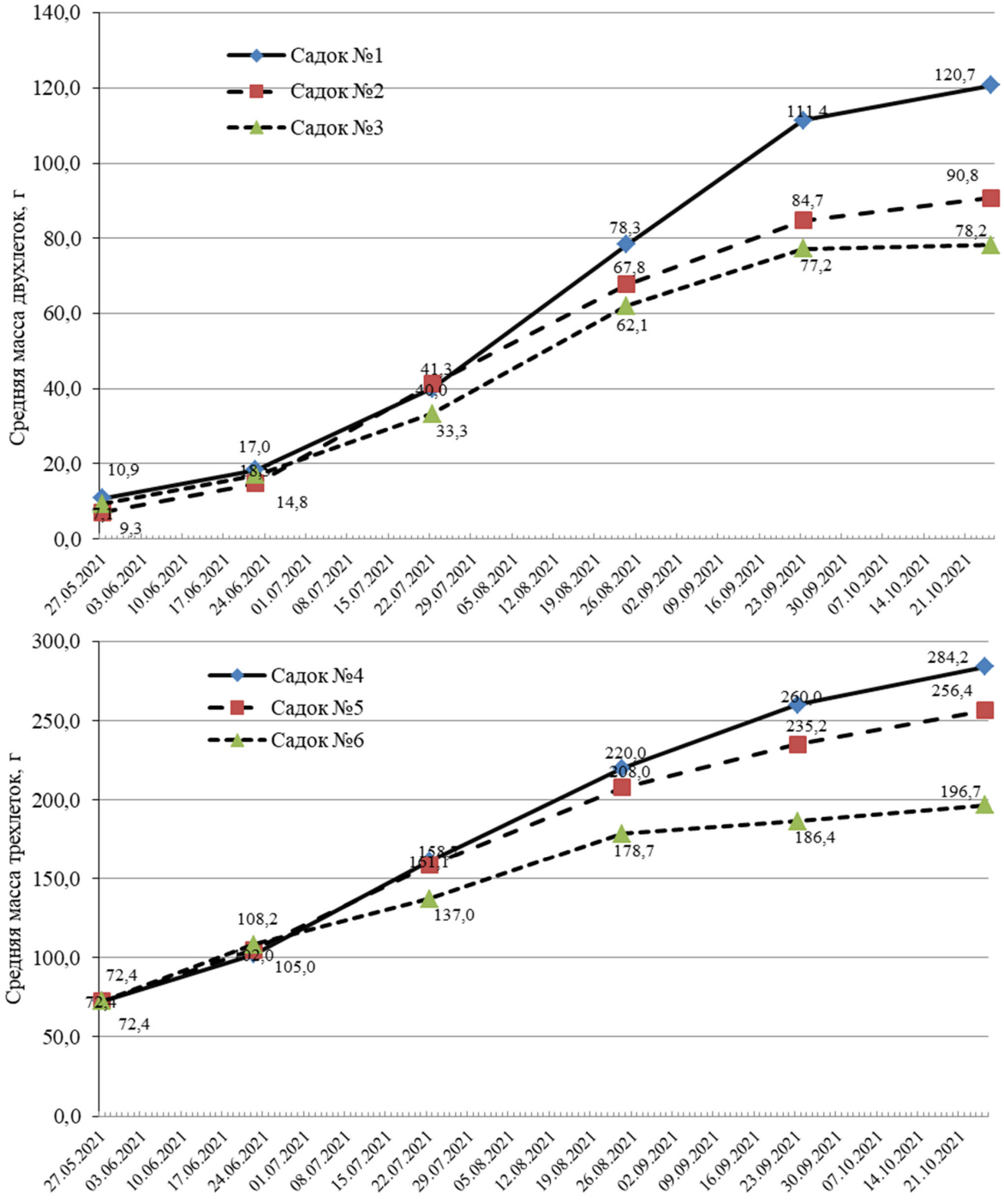

Рис. 2. Динамика роста двух- (сверху) и трехлеток (снизу) судака в садках
Fig. 2. The growth dynamics of two- (top) and three-year-old (bottom) pikeperches in the cages

эксперимента характеризовались рыбы, выращенные в условиях с относительно низкой плотностью посадки (41,5 экз./м^2 для двухлеток и 19 экз./м^2 для трехлеток) и нормой кормления (2% для двухлеток и 1,5% для трехлеток).

Следует отметить, что рост судака в садках соответствовал росту молоди в естественных условиях. Например, в Финском заливе на третий год жизни масса судака составляет от 219 до 318 г (Отчет.., 2004), в р. Амур — 253,1–294,4 г (Семенченко, Островская, 2020). В наших исследованиях средняя масса судака указанного возраста, содержащегося в контрольном садке, равнялась 284,2 ± 13,2 г (от 220 до 344 г) (табл. 3).

Двукратное увеличение нормы кормления у двухлеток (вариант опыта № 2) привело к снижению темпа роста на 11%, у трехлеток (вариант опыта № 5) — на 8%. Повышение плотности посадки в два раза у двухлеток (вариант опыта № 3) снизило темп роста на 17%, у трехлеток (вариант опыта № 6) — на 27% (табл. 3).

У двухлеток и трехлеток судака, получавших корм в избытке (вариант опыта № 2 и № 5), были отмечены наибольшие кормовые коэффициенты по сравнению с контрольными вариантами выращивания (вариант опыта № 1 и № 4) — в 2,7–2,8 раза больше, чем в контрольных. На фоне этого у молоди отмечалось замедление темпа роста. Двукратное повышение плотности посадки молоди в садках привело к снижению интенсивности питания рыб, что негативно отразилось на кормовом коэффициенте, который по сравнению с контролем у двухлеток повысился в 1,5 раза, у трехлеток — в 2,6 раза.

Наименьший кормовой коэффициент — 0,8 для двухлеток и 1,4 для трехлеток (табл. 3) — наблюдался при температуре 20–25 °С. Понижение температуры воды на каждые 5 °С (с 20 до 10 °С) у двухлеток приводило к двукратному повышению кормового коэффициента, у трехлеток показатель кормового коэффициента увеличивался в 1,7 раза, что, вероятно, связано со снижением интенсивности питания и потерями непотребленного корма.

Несмотря на относительно быстрый рост и крупные размеры судака в контрольных вариантах, их выживаемость была наименьшей в эксперименте — 93% для двухлеток и 88% для трехлеток (табл. 3). Выживаемость судака в опытных садках с повышенной нормой кормления (варианты № 2 и № 5) и плотностью посадки (варианты № 3 и № 6) имела близкие значения и составляла для двухлеток 99 и 98%, для трехлеток — 92 и 91% соответственно.

Исследование физиологического состояния судака младших возрастных групп РМС осенью перед зимовкой в целом указывает на ожирение рыб и жировое перерождение печени, что говорит о несоответствии используемых форелевых кормов потребностям судака. Тем не менее ожирение не явилось причиной нарушения гаметогенеза: среди исследованных трехлеток встречались самки с гонадами третьей стадии зрелости (рис. 3), доля таких самок составила 13%.

Средняя абсолютная плодовитость самок в контроле составила 50,9 тыс. икринок, у самок из варианта опыта с удвоенной плотностью посадки — 33,7 тыс. икринок. Столь значительные различия могут быть обусловлены ухудшением условий содержания судака в садках вследствие чрезмерно высокой плотности посадки, на что косвенно указывает снижение гемоглобина в крови до 47,6 мг/л. Для сравнения, у трехлеток судака из контрольной группы концентрация гемоглобина в крови составила 64,8 мг/л, что близко к норме, установленной для диких рыб, равной 70–72 мг/л (Кузина, 2009). У двухлеток судака наблюдалась схожая тенденция снижения содержания гемоглобина в крови: с 66,8 мг/л в контроле до 54,4 мг/л в варианте опыта с повышенной плотностью содержания рыб.

Таблица 3. Результаты выращивания двух- и трехлеток судака в садках на искусственном корме при естественном температурном режиме
Table 3. Results of rearing two- and three-year-old zander in cages on artificial feed under natural temperature condition

Возраст	1+			2+		
Вариант опыта / садок, №	1	2	3	4	5	6
Исследуемый параметр:	контроль			контроль		
– нормы кормления, %	2	4	2	1,5	3	1,5
– плотность посадки, экз./м^2	41,5	41,5	83	19	19	38
Средняя начальная масса, г		9,1			72,4	
Средняя конечная масса, г	121	91	78	284	256	197
Выживаемость, %	93	99	98	88	92	91
Среднесуточный прирост, %	1,71	1,52	1,42	0,91	0,84	0,66
Среднесуточный прирост при 20 °С и выше, %	2,7	2,5	2,3	1,6	1,4	0,8
Кормовой коэффициент *	1,1	3,1	1,6	1,8	4,9	4,7
Кормовой коэффициент при 20 °С и выше	0,8	2,0	1,1	1,4	3,3	2,3

Примечание: *Кормовой коэффициент для судака рассчитан без учета последнего месяца выращивания (октябрь), в котором температура воды была ниже 10 °С.
Note: *The feeding coefficient of zander is calculated without taking into account the last month of rearing (October), when the water temperature was below 10 °C.

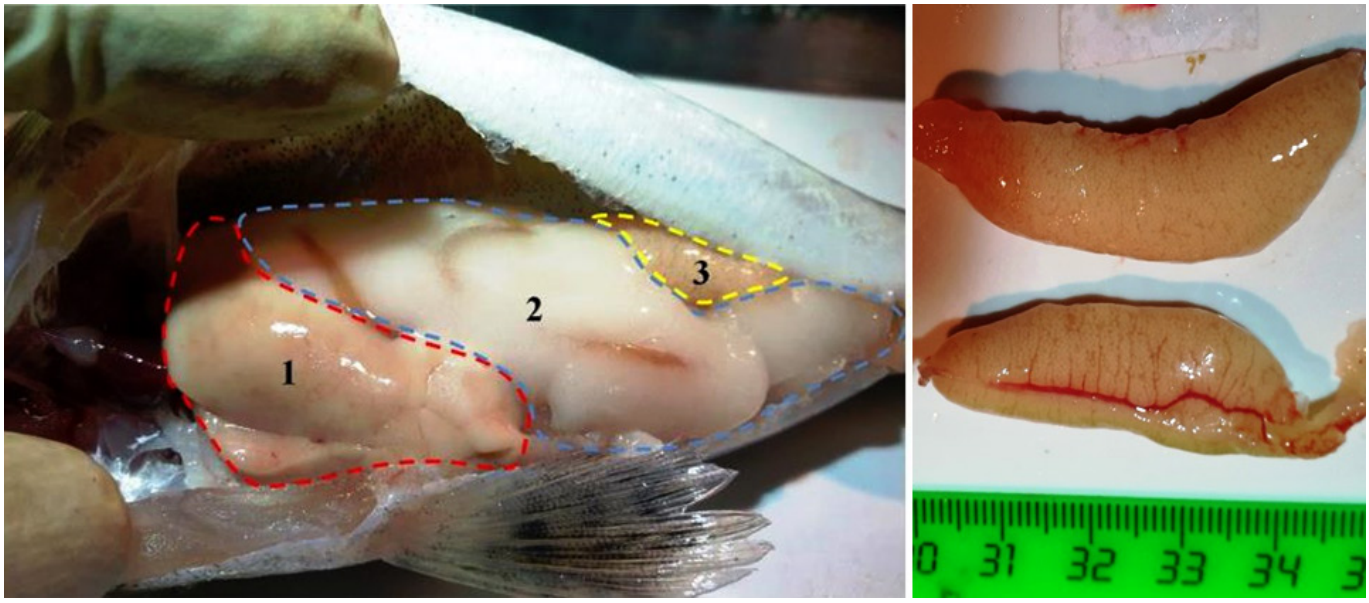

Рис. 3. Слева: Вскрытая самка судака возраста 2+ (25.10.2021). Масса — 316 г, длина (промысловая) — 29,3 см. 1) печень, 2) полостной жир, 3) гонада. Справа — гонады третьей стадии зрелости, масса — 6,8 г
Fig. 3. Left: dissected female of zander, age 2+ (October 25, 2021). Weight – 316g, length (commercial) – 29.3 cm. 1) liver, 2) visceral fat, 3) gonad. Right: gonads of the third stage of maturity, weight — 6.8g**

Вероятной причиной снижения содержания гемоглобина у молоди в условиях повышенной плотности посадки может являться ограничение свободного пространства в садке, и как следствие, меньшая подвижность рыб. Тем не менее признаков дефицита кислорода в водоеме в период опытного выращивания судака не зафиксировано. В пик высоких температур, когда вода прогревалась до 24,5 °С, содержание кислорода в садках было не ниже 7,7 мг/л при насыщении 90–92%. Известно, что дефицит кислорода для судака наблюдается при снижении его уровня в воде ниже 6 мг/л (Dalsgaard et al., 2013).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали принципиальную возможность выращивания младших ремонтных групп судака в садках на искусственных кормах при естественном температурном режиме водоема. Содержание молоди в подобных условиях позволяет получить физиологически полноценных рыб, не уступающих по темпу роста судаку из естественных водоемов региона, с нормальным ходом гаметогенеза.

Использование в эксперименте форелевых кормов, не соответствующих пищевым потребностям судака, приводит к появлению признаков ожирения и жирового перерождения печени у рыб. На наш взгляд, данная проблема может быть решена выбором менее калорийных кормов.

Исследование условий выращивания младших ремонтных групп судака в садках позволило определить наиболее подходящие плотности посадки и нормы кормления, которые для двухлеток составили 0,38 кг/м^2 и 2% от массы тела, для трехлеток — 1,4 кг/м^2 и 1,5% соответственно.

Полученные результаты в будущем могут быть использованы для разработки технологии создания и эксплуатации РМС судака в садках, установленных в естественных водоемах, что может способствовать расширению возможностей рыбоводных хозяйств, не имеющих технических средств для подогрева воды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Государственного задания: Тема № 31.3 «Разработка технологической документации для модельных хозяйств по получению молоди и товарному выращиванию рыб — перспективных объектов аквакультуры».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Ариков П.Д., Дерменжи П.Д., Молдован С.В., Черней С.Н. 2017. Выращивание ремонтных групп двухлетков судака, полученных в прудовых условиях / Матер. Конф. «Интегрированное управление трансграничным бассейном Днестра» (Тирасполь, Молдова, 26–27 октября 2017 г.). С. 22–24.

Винберг Г.Г. 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. Минск: Белорус. гос. ун-т. 251 с.

Инструкция по физиолого-биохимическим анализам рыбы. 1984. М.: ВНИИПРХ. 60 с.

Князева Л.М. 1979. Рекомендации по увеличению сроков хранения гранулированного корма для молоди форели путем опрыскивания его водным раствором витамина С. Л.: ГосНИОРХ. 12 с.

Кудерский Л.А. 2000. Долгопериодные изменения уловов рыб восточной части Финского залива // Вопр. рыболовства. Т. 1. № 2–3. Ч. 2. С. 23–24.

Кузина Т.В. 2009. Анализ гематологических показателей судака Волго-Каспийского канала // Естественные науки. № 4. С. 96–100.
Лютиков А.А., Королев А.Е. 2019. Опыт перевода молоди судака (*Sander lucioperca*) с естественной пищи на искусственный корм // Вопр. рыболовства. Т. 20, № 4. С. 468–481.
Лютиков А.А., Королев А.Е. 2020. Определение оптимальной массы и плотности посадки молоди судака (*Sander lucioperca*) при переводе из прудов в индустриальные условия // Вопр. рыболовства. Т. 21, № 2. С. 188–202.
Лютиков А.А., Королев А.Е. 2021. Определение оптимальных показателей массы тела, плотности посадки, температурного режима выращивания и состава кормов при адаптации молоди судака (*Sander lucioperca*) из прудов к индустриальным условиям // Вопр. рыболовства. Т. 22, № 3. С. 61–82.
Методические указания по проведению гематологического обследования рыб. 1999. № 13-4-2-/1487 от 2 февраля 1999 г. Утв. Департаментом ветеринарии / Сб. инструкций по борьбе с болезнями рыб. Ч. 2. М.: АМБагро. С. 69–97.
Михеев П.В., Мейснер Е.В., Михеев В.П. 1970. Садковое рыбоводное хозяйство на водохранилищах. М.: Пищ. пром-сть. 159 с.
Отчет о научно-исследовательской работе «Биологическое обоснование прогноза общего допустимого улова полупроходных рыб, рыб пресноводного комплекса и миноги восточной части финского залива на 2005 г.»… 2004. Фонды ГосНИОРХ. 70 с.
Полтавчук М.А. 1965. Биология и разведение днепровского судака в замкнутых водоемах. Киев: Наукова Думка. 259 с.
Семенченко Н.Н., Островская Е.В. 2020. Рост и биологическая характеристика обыкновенного судака *Sander lucioperca* (Linnaenus, 1758) р. Амур // Изв. ТИНРО. Т. 200. Вып. 3. С. 571–585.
Хрусталев Е.И., Дельмухаметов А.Б. 2012. Технология формирования маточного стада судака в установках с замкнутым циклом водообеспечения // Рыбное хозяйство. № 1. С. 70–72.
Шурухин А.С., Лукин А.А., Педченко А.П., Титов С.Ф. 2016. Современное состояние рыбного промысла и эффективность использования сырьевой базы Финского залива Балтийского моря // Тр. ВНИРО. Т. 160. С. 60–69.
Antalfi A. 1979. Propagation and rearing of perch in pond culture // EIFAC Techn. Pap. № 35. Suppl. № 1. P. 120–125.
Ben Ammar I., Teletchea F., Milla S., Ndiaye W.N., Ledore Y., Missaoui H. Fontaine P. 2015. Continuous lighting inhibits the oneset of reproductive cycle in pikeperch // Fish Physiol. Biochem. Vol. 41. P. 344–356.
Beyerle G.B. 1975. Summary of attempts to raise walleye fry and fingerlings on artificial diets. with suggestions on needed rese-arch and procedures to be used in future tests // Progressiv Fish-Culturist. 37. P. 103–105.
Blecha M., Kristan J., Policar T. 2016. Adaptation of intensively reared pikeperch (*Sander lucioperca*) juveniles to pond culture and subsequent re-adaptation to a recirculation aquaculture system // Turk J. Fish Aquat Sci. № 16. P. 15–18.
Bódis M., Bercsényi M. 2009. The effect of different daily feed rations on the growth, condition, survival and feed conversion of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca*) reared with dry feed in net cages // Aquac. Int. Vol. 17. P. 1–6.
Dalsgaard J., Lund I., Thorarinsdottir R., Drengstig A., Arvonen K., Pedersen P. 2013. Farming different species in RAS in Nordic countries: Current status and future perspectives // Aquacultural Engineering. Vol. 53. P. 2–13.
Fontaine P., Wang N., Hermelink B. 2015. Broodstock management and control of the reproductive cycle. In Biology and culture of percid fishes (ed. P. Kestemont, K. Dabrowski, R.C. Summerfelt). Springer, Dordrecht, the Netherlands. P. 103–122.
Khendek A., Chakraborty A., Roche J., Ledoré Y., Personne A., Policar T., Żarski D., Mandiki R., Kestemont P., Milla S. 2018. Rearing conditions and life history influence the progress of gametogenesis and reproduction performances in pikeperch males and females // Animal. Vol. 12. P. 2335–2346.
Knösche H.R., Wedekind H., Heidrich S. 2005. Aufzucht von Zandern in der Aquakultur // Schriften des Instituts für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow. Band 18. P. 75.
Ljubobratović U., Péter G., Horváth Z., Żarski D., Ristović T., Percze V., Sándor Z., Lengyel S., Rónyai A. 2017. Reproductive performance of indoor-reared pikeperch (*Sander lucioperca*) females after wintering in outdoor earthen ponds // Aquac. Res. Vol. 48. P. 4851–4863.
Policar T., Stejskal V., Krist'an J., Podhorec P., Svinger V., Blaha M. 2013. The effect of fish size and stocking density on the weaning success of pond-cultured pikeperch *Sander lucioperca* L. juveniles // Aquac. Int. № 21. P. 869–882.
Ruuhijärvi J., Hyvärinen P. 1996. The status of pike-perch culture in Finland // J. Appl. Ichtiol. Gent. Belgium. Vol. 12 (3–4). P. 185–188.
Steffens W. 1996. Aquaculture of fry and fingerling of pike-perch (*Stizostedion lucioperca* L.) – a short review // J. Appl. Ichtiol. Vol. 12 (3–4). P. 167–170.
Summerfelt R.C. 1996. Intensive culture of walleye fry. P. 161–185. In R.C. Summerfelt, editor. Walleye culture manual. NCRAC culture series 101. North Central Regional Aquaculture Center Publications Office, Iowa State University, Ames.
Wedekind H. 2004. Produktion von groBen Zander-setzlingen und Speisezandern in der Aquakultur // Fisher & Teichwirt. 7. P. 738.
Zakęś Z. 2007. Out-of-season spawning of cultured pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) // Aquac. Res. № 38. P. 1419–1427.
Zakęś Z., Hopko M., Kowalska A., Partyka K., Stawecki K. 2013. Impact of feeding pikeperch *Sander lucioperca* (L.) feeds of different particle size on the results of the initial on-growing phase in recirculation systems // Arch. Pol. Fish. Vol. 21 (1). P. 3–9.

УДК 597.552.511–113.4

ОСОБЕННОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТЕМПОВ РЕЗОРБЦИИ ЖЕЛТОЧНОГО МЕШКА, РОСТА МАССЫ И ДЛИНЫ ТЕЛА У СВОБОДНЫХ ЭМБРИОНОВ И ЛИЧИНОК КЕТЫ (*ONCORHYNCHUS KETA*)

Владимир Григорьевич Самарский

Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия, samarskiy@yahoo.com

Аннотация. Наблюдения за динамикой резорбции массы желточного мешка у отдельных экземпляров свободных эмбрионов и личинок кеты, а также за изменениями массы и длины их тела показали, что в эмбрионально-личиночный период решающее значение для роста массы тела играет начальный запас желточного мешка. Чем больше масса желточного мешка, тем выше темпы роста массы тела и конечные размеры личинок. Связь между массой желточного мешка и массой тела сохраняется у молоди кеты более месяца с начала перехода на внешнее питание. Разработана оригинальная методика индивидуального мечения личинок кеты, а также оригинальная методика прижизненного определения массы желточного мешка.

Ключевые слова: кета, желточный мешок, резорбция, рост массы тела

PECULIARITIES OF INDIVIDUAL RATES OF THE YELLOW SAC RESORPTION, BODY LENGTH AND WEIGHT GROWTH IN FREE EMBRYOS AND LARVES OF CHUM SALMON (*ONCORHYNCHUS KETA*)

Vladimir G. Samarsky

Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia, samarskiy@yahoo.com

Abstract. Observations of the dynamics of the yolk sac resorption in particular free embryos and larvae of chum salmon, and the changes in their body weight and length, showed that the initial weigh of the yolk sac has a main role for the growth of body weight during the embryonic-larval period. The higher the weight of the yolk sac, the higher growth rate of the body weight and length of the larves. The correlation between the yolk sac weight and body weight has heen stable more than a month since the beginning of feeding on external food. Original method for individual marking of chum salmon larvae, and original method for in vivo evaluation of the yolk sac weight is worked out.

Keywords: chum salmon, yolk sac, resorption, body weight growth

Линейные и весовые показатели, характеризующие размер особи, являются одними из наиболее изменчивых характеристик организмов. Необходимость и важность исследования факторов, определяющих изменчивость роста рыб, неоднократно подчеркивались (Никольский, 1974; Поляков, 1975; Мина, 1981; и др.).

Изменчивость размеров ооцитов у рыб, как отражение условий нагула и индивидуальных особенностей производителей, имеет важное значение для последующего формирования численности и размерного состава получаемого потомства. Разноразмерность потомства, в свою очередь, является фактором, участвующим в дальнейшем формировании динамики стада рыб (Никольский, 1974; Дгебуадзе, 2001). Изучение особенностей эмбрионально-личиночного периода развития кеты имеет важное прикладное значение в связи с ее широкомасштабным воспроизводством.

Обладая крупными ооцитами, кета является удобным видом для исследования особенностей роста свободных эмбрионов и личинок. Из ее икры вылупляются крупные свободные эмбрионы, что значительно упрощает проведение измерений. Оптимальные для ее эмбрионального и постэмбрионального периода развития температуры воды и связанные с этим сроки развития позволяют

проводить растянутые во времени наблюдения (Самарский, 2005).

Обычно наблюдения за резорбцией желточного мешка и ростом массы тела проводятся из выборок, с умерщвлением наблюдаемого материала. Выводы, которые можно получить при этом, характеризуют групповую изменчивость. При этом не исследованной остается тема индивидуальной изменчивости и индивидуальных темпов резорбции желточного мешка и связанных с этим эффектов и проявлений в дальнейшем, при превращении личинок в молодь.

В настоящей работе предпринята попытка изучить возможность провести прижизненные дистанционные наблюдения за резорбцией желточного мешка у отдельных свободных эмбрионов и личинок кеты с дальнейшим наблюдением за ростом этих же особей в мальковый период. Кроме этого, разработана оригинальная методика мечения небольших групп личинок кеты, с сохранением различимой метки в течение не менее 40 сут.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на Охотском рыбоводном заводе ООО «Салмо», расположенном на юго-востоке о. Сахалин, в 2005–2006 гг.

Для эксперимента было отобрано 55 икринок кеты (количество обусловлено ограниченными возможностями нанесения меток на лопасти хвостового плавника в дальнейшем эксперименте), находящихся на стадии, близкой к вылуплению, которые были получены от разных самок. Икра была взята из партии, собранной в течение нескольких часов, т. е. являлась одновозрастной. Размерный ряд икринок был сформирован так, чтобы в эксперименте были представлены икринки разной массы, от минимальной до максимальной, которые присутствовали в партии-доноре. После взвешивания икринкам присваивался индивидуальный номер, и они помещались в пластиковую пробирку с тем же номером, нанесенным несмываемой краской на боковую поверхность пробирки. Пробирки имели 6 см в длину и 1,5 см в диаметре, для водообмена в их стенках были проделаны по 60 отверстий диаметром 2 мм. Пробирки с находящимся в них материалом помещались в аппарат Аткинса с проточной водой.

Идея возможности прижизненного определения массы желточного мешка основана на предположении существования связи размеров желточного мешка и его массы. С целью прижизненного определения массы содержимого желточного мешка использовались измерения желточного мешка на цифровых снимках и последующего сравнения полученных результатов с результатами непосредственного взвешивания желточного мешка у группы личинок такого же возраста. Корреляция между величиной площади желточного мешка, видимой в боковой проекции у лежащих на боку свободных эмбрионов и личинок, со значением массы содержимого желточного мешка, полученным путем взвешивания, колебалась от r = 0,96 до 0,98 (для свободных эмбрионов и личинок возрастом до 45 сут от вылупления). Фотографирование проводилось в одинаковых условиях: объекты располагались на правом боку в чашке Петри с объемом воды 7 мл (рис. 1).

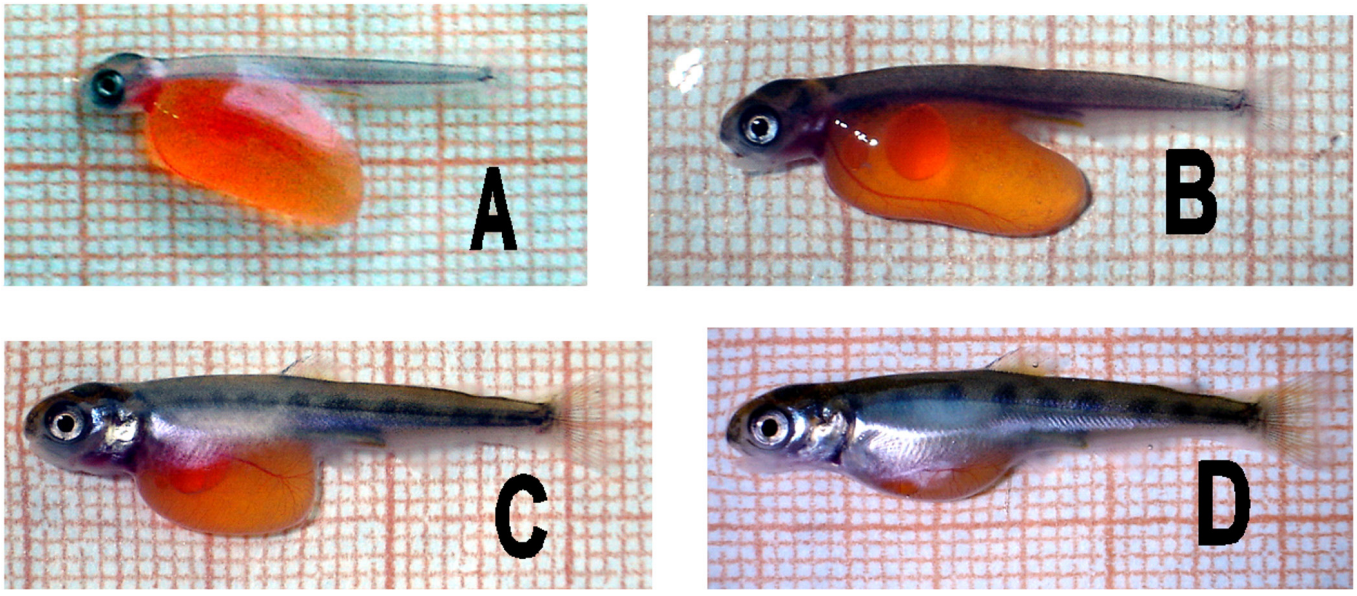

Рис. 1. Фотографии свободных эмбрионов и личинок кеты на фоне миллиметровой бумаги: A — после вылупления; B — 15 сут после вылупления; C — 30 сут после вылупления; D — 45 сут после вылупления
Fig. 1. The photographs of free embryos and larvae of chum salmon against the background of graph paper: A – after emergence; B – 15 days since emergence; C – 30 days since emergence; D – 45 days since emergence

Для определения веса вылупившихся свободных эмбрионов (а далее личинок) извлекали из пробирок, излишки влаги удаляли фильтровальной бумагой и взвешивали в емкости с водой. После взвешивания их помещали в чашку Петри с 7 мл воды и на фоне миллиметровой бумаги производилось фотографирование цифровым фотоаппаратом с разрешением 6 млн пикселей. Далее свободный эмбрион (личинка) вновь помещался в пробирку, из которой был извлечен, для дальнейшей инкубации. Аналогичным образом один раз в 15 сут от момента вылупления проводилось измерение и фотографирование всего наблюдаемого материала. Кратковременное извлечение личинок из воды не приводило к их травмированию.

На цифровом снимке, открытом в программе, позволяющей редактировать фотографии, выделялся видимый контур желточного мешка. Затем выделенное изображение переносилось на поле миллиметровой бумаги этого же снимка. По клеткам миллиметровой бумаги подсчитывалась площадь, занимаемая перемещенным изображением, полученная величина имела размерность мм² (рис. 2).

Контуры желточного мешка у свободных эмбрионов возрастом до 15 сут от вылупления легко различимы. Начиная с 30 и до 45 сут от вылупления, верхняя часть желточного мешка закрывается брюшными выростами миотомов. Исследования зафиксированных в 4%-м формалине свободных эмбрионов показали (желток при этом затвердевает и сохраняет естественную форму), что выпуклость брюшных стенок в точности соответствует расположению содержимого желточного мешка.

Когда запасы желточного мешка становились менее 25–30% от массы тела, оценить их описанным выше способом было уже невозможно. В этом случае применялся следующий метод. Выполнялись два снимка личинки: на спине и на боку. У личинки, лежащей на спине, измерялась длина «окошка», образованного не сросшимися краями брюшных стенок, и его максимальная ширина (рис. 3). У лежащей на боку личинки измерялось расстояние от основания брюшка до боковой линии в месте наибольшей высоты тела (рис. 4), выпуклость брюшка в данном случае связана с объемом и формой имеющегося желтка, что также было подтверждено исследованием зафикси-

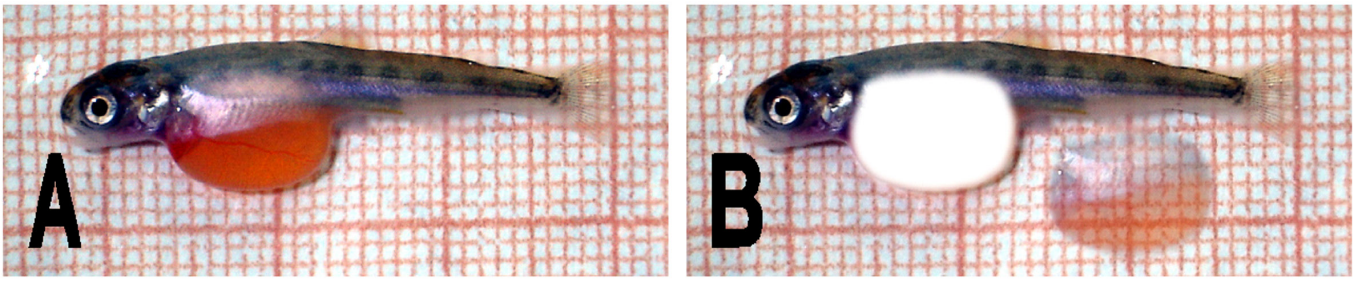

Рис. 2. A — изображение до обработки, B — после обработки
Fig. 2. A – before processing, B – after processing

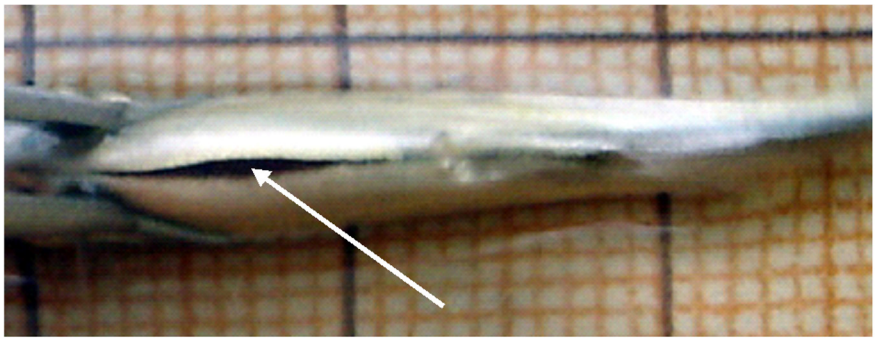

Рис. 3. Вид личинки кеты возрастом 60 суток после вылупления. Стрелкой указано «окно», образованное не сросшимися брюшными стенками
Fig. 3. The view of the chum salmon larva 60 days since emergence. The arrow indicates the “window” formed by non-fused abdominal walls

Рис. 4. Личинка кеты, лежащая на боку
Fig. 4. Chum salmon larva lying on its side

рованных в 4%-м формалине свободных эмбрионов. В этом случае был разработан индекс, характеризирующий размеры желточного мешка, который вычислялся по формуле:

$$(A+B)/C,$$

где A — длина от основания брюшка до боковой линии в месте наибольшей высоты; B — максимальная ширина «окна», образованного несросшимися краями брюшных стенок; C — длина «окна», образованного несросшимися краями брюшных стенок. Формула была получена эмпирическим путем. Значения индекса, рассчитанные по данной формуле, обеспечивали тесную корреляцию (r = 0,87) со значением массы желточного мешка, полученного путем взвешивания, у контрольной одновозрастной партии.

В день проведения анализов личинок из эксперимента (с частотой раз в 15 сут) параллельно отбиралось по 10 шт. максимально разноразмерных личинок (из контрольной донорской партии), имевших аналогичный возраст. После проведения измерения размеров их желточного мешка описанными выше способами, проводилось непосредственное взвешивание желтка. Затем строились линии регрессии связи между размерами желточного мешка и его массой. По выявленному уравнению регрессии проводился расчет массы содержимого желточного мешка у живых личинок, наблюдаемых в эксперименте (рис. 5).

Следует отметить, что было исследовано множество возможных вариантов измерений желточного мешка, но именно приведенные выше способы давали наиболее тесную связь.

Масса тела у свободных эмбрионов и личинок в эксперименте вычислялась как разница между массой всего организма, полученной непосредственным взвешиванием, и расчетной массой желточного мешка.

В течение всего периода наблюдений температура воды составляла 6 ± 0,1 °C, ее химический состав не претерпевал заметных изменений. Данное обстоятельство является особенностью и следствием грунтового водоснабжения Охотского рыбоводного завода (Самарский, 2005).

Все взвешивания проводились на весах Sartorius LC 621s с точностью измерений до 0,001 г.

По окончании резорбции желточного мешка, для дальнейшей идентификации личинок на хвостовой плавник личинок была нанесена кодовая метка в виде отверстий, пробитых в тканях плавника при помощи выбойки диаметром 0,3 мм. Нанесенный код соответствовал номеру наблюдаемого экземпляра. Отверстия наносились в ряд от основания плавника к краю, не более 3 шт. на каждой лопасти, с промежутками не менее 1 диаметра наносимых отверстий (рис. 6).

В период мечения личинки обездвиживались 2-феноксиэтанолом. После нанесения меток они были помещены в пластиковый бассейн для выращивания.

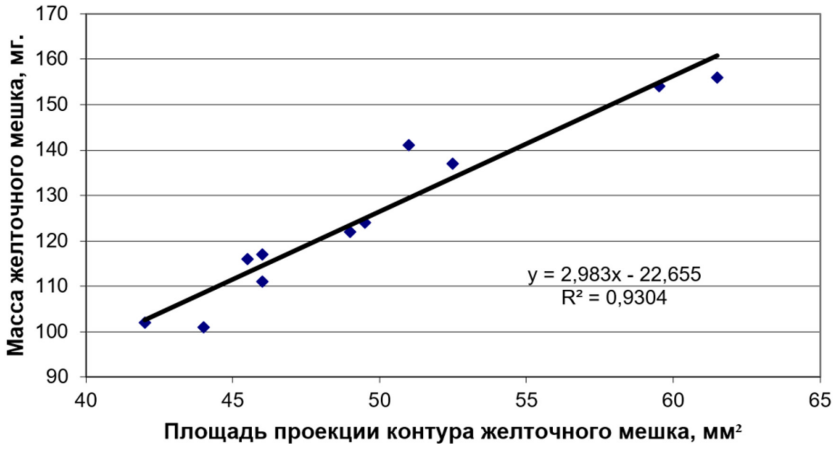

Рис. 5. Пример зависимости между площадью проекции контура желточного мешка, мм², и его массой, мг. Контрольный промер 22.01.2006
Fig. 5. Example of the relationship between the projection area of the yolk sac contour (mm²) and its mass (mg). Control measurement 22.01.2006

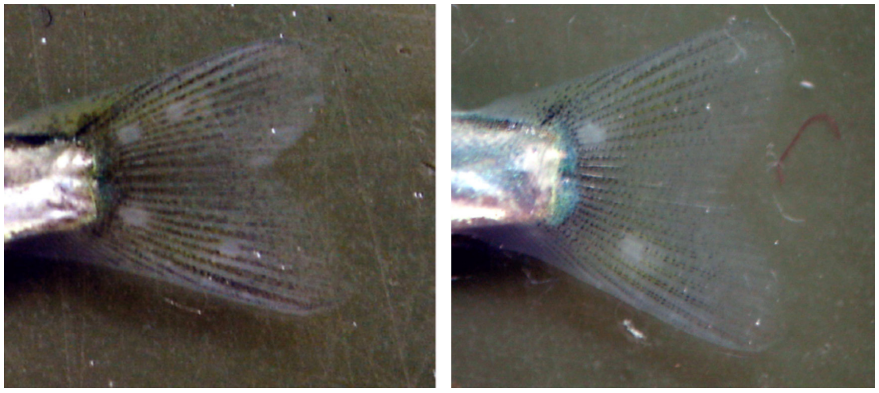

Рис. 6. Хвостовые плавники молоди кеты с нанесенными на лопасти метками спустя 40 сут после мечения
Fig. 6. The caudal fins of juvenile chum salmon with the marks since 40 days after marking

Гибели после мечения не отмечалось. Для создания условий стайности, для эффективного кормления в бассейн было подсажено (не меченной) дополнительно 50 шт. молоди такого же возраста из партии донора.

От начала кормления молоди один раз в 20 дней проводились взвешивания и фотографирование с последующим определением по нанесенной метке номера наблюдаемого экземпляра (идентификацией). Метка была хорошо различима на цифровом фотоснимке в течение 40 сут с момента нанесения (рис. 6).

При подращивании молодь содержалась в бассейне с размерами 1,3×0,7×0,6 при уровне воды 0,5 м и проточности 0,2 л/с. Кормление проводилось по избыточному принципу лососевым комбикормом производства Aller-Aqua.

Статистическая обработка материалов проводилась общепринятыми методами (Плохинский, 1970). Все вычисления производились с использованием пакета программ Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Существует два противоположных мнения на характер связи между размерами икры и размерами получаемых из нее свободных эмбрионов и личинок. Одни авторы ее отрицают (Привольнев, 1960; Ястребков, 1965; Галкина, 1968), другие указывают на ее наличие (Мейен, 1940; Brown, 1946; Морозов, 1951; Матвеев, 1951; Смирнов, 1954; Слуцкий, 1978; Волобуев, 1984; Beacham, 1987).

Наши исследования показывают, что у кеты на момент вылупления отсутствует связь между массой икринки и массой тела полученного из нее свободного эмбриона. Также отсутствует ее связь с длиной тела. Это объяснимо тем, что у лососевых в период развития под оболочкой размеры тела зародышей пропорциональны объему бластодиска и не зависят от размеров икринки (Павлов, 2001).

Масса желточного мешка при вылуплении у свободных эмбрионов кеты тесно коррелирует с начальной массой икринок r = 0,93. Более тесная корреляция (r = 0,98) отмечена при анализе связи между средней массой группы икринок и средней массой желточного мешка у полученных из этой икры группы свободных эмбрионов (Самарский, 2005).

Ввиду наличия столь тесной зависимости целесообразно рассматривать дальнейшие изменения массы и длины тела личинок в их связи с начальным запасом желточного мешка.

Известно существование более сильной зависимости между начальной массой икринок и массой получаемых из них личинок, чем между массой икринок и размерами тела личинок (Beacham, 1987).

В нашем эксперименте в процессе развития свободных эмбрионов корреляционная связь между начальным запасом желточного мешка и массой тела (тело без желточного мешка) постепенно усиливалась (от r = 0,03) и непосредственно перед полным исчерпанием запасов желточного мешка достигла максимального значения (r = 0,82). Усиление связи происходило линейно. За этот же период связь между начальным запасом желточного мешка и длиной тела отсутствовала. Непосредственно к концу резорбции желточного мешка она достигла слабого уровня (r = 0,4).

Наши данные указывают на отсутствие сильной связи между длиной и массой тела у свободных эмбрионов и личинок кеты. При вылуплении связь была слабая (r = 0,36), в последующий период, до окончания резорбции желточного мешка, коэффициент корреляции оставался стабильным и колебался от 0,64 до 0,66. По нашему мнению, это вызвано значительной вариабельностью пропорций тела. После начала питания внешней пищей связь между длиной тела и его массой усиливается (через 20 сут r = 0,58, через 40 сут r = 0,78) и, как известно, сохраняется тесной до половозрелости.

Показано на чавыче (Fowler, 1972), на арктическом гольце (Valdimarsson et al., 2002), на кете (Beacham, 1987; Самарский, 2005), что требуется больше времени на полную утилизацию содержимого более крупного желточного мешка. Наши результаты демонстрируют, что чем больше запас желточного мешка при вылуплении, тем выше скорость его резорбции (мг/сут.). Отмечена тесная корреляция (r = 0,92) между этими величинами. Характер связи линейный (рис. 6). Диапазон колебаний значений от 1,88 до 3,26 мг/сут при среднем значении 2,63. В условиях приведенного эксперимента разница между временем резорбции самого крупного желточного мешка и самого меньшего составила 16 сут. Это возможно только в том случае, если скорость резорбции не прямо пропорциональна массе желточного мешка. Видно (рис. 7), что значение множителя линейного уравнения равно ~0,01, это значит, что увеличение массы желточного мешка на 100 мг приводит к увеличению скорости резорбции на 1 мг/сут. Результаты моделирования показали, что при таком характере связи относительная скорость резорбции (процент от исходной массы желточного мешка в сутки) должна снижаться у экземпляров с изначально большими запасами желточного мешка. Что мы и наблюдали. В нашем случае она изменялась от 1,45 до 1,18 и отрицательно коррелировала с массой желточного мешка (r = –0,65).

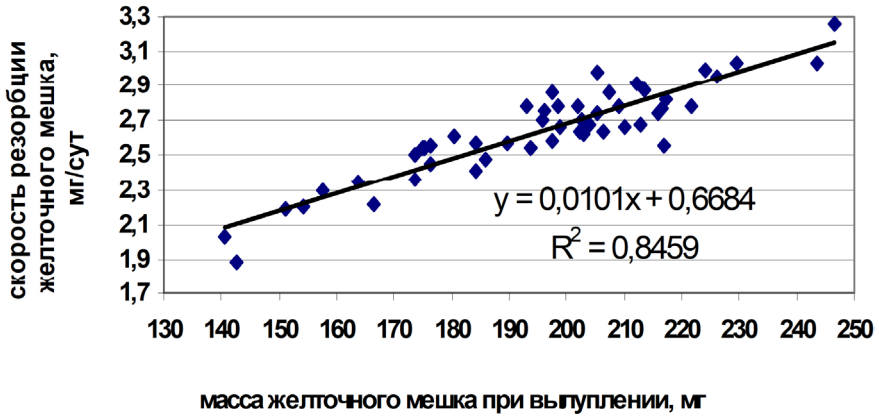

Рис. 7. Зависимость скорости резорбции желточного мешка от его начальной массы
Fig. 7. The correlations between the yolk sac resorption rate and the yolk sak initial weight

Наличие у каждой особи индивидуальных отличий в абсолютной скорости резорбции ослабляет связь между начальной массой желточного мешка и временем, необходимым на его полную резорбцию (r = 0,62).

В течение первых 15 сут после вылупления скорость резорбции желточного мешка была ниже в среднем на 6,7%, чем в последующее время. Но в целом у каждого отдельного экземпляра скорость резорбции весь период оставалась величиной, близкой к постоянной, и происходила линейно, что соответствует приводимым в литературе данным, полученным на группах молоди атлантического лосося (Новиков и др., 1991).

Постоянство абсолютной скорости резорбции желтка в течение эмбрионально-личиночного периода указывает на зависимость этого показателя от начальных размеров желточного мешка и на то, что она не зависит ни от исходных размеров тела эмбриона, ни от его изменений в период роста.

На основании количественных данных о приросте сырой массы тела и резорбции желточного мешка за соответствующий период было рассчитано значение кормового коэффициента желтка для каждого наблюдаемого экземпляра.

Нами отмечено, что чем выше скорость резорбции желточного мешка, тем выше кормовой коэффициент, с которым содержимое желточного мешка преобразуется в массу тела (r = 0,57). Иными словами, чем быстрее расходуется желток, тем менее эффективно происходит его ассимиляция. Это согласуется с имеющимися данными о более эффективном использовании желтка мелких икринок на формирование тканей эмбриона и личинки (Галкина, 1969; Kamler, Kato, 1983; Beacham, Murray, 1986).

Значения кормового коэффициента желтка у отдельных экземпляров колебались от 0,55 до 0,67 при среднем значении 0,62. При таком уровне колебаний кормового коэффициента, из-за разной усвояемости, должна ослабляться связь между начальной массой желточного мешка и массой личинки в конце резорбции желточного мешка, что и наблюдалось (r = 0,89).

Известно о существовании разнокачественности питательной ценности самого желтка, содержащегося в ооцитах разных самок. Нами выявлена слабая связь кормового коэффициента желтка с его начальной массой (r = 0,39). Наиболее вероятно, что это указывает на индивидуальную питательную ценность желтка у разных экземпляров (все получены от разных самок).

В период резорбции рост массы тела у каждого свободного эмбриона и личинки происходил линейно и равномерно, с незначительным замедлением в последнюю декаду перед завершением запасов желтка. Факт снижения темпов роста белковой массы тела при приближении к полной резорбции известен и объясняется дефицитом энергии желтка вследствие вынужденного голодания (Новиков и др., 1991; Heming, 1982).

Из курса эмбриологии известно, что утилизация содержимого желточного мешка происходит при помощи перибласта, которым в процессе эпиболии обрастает вся желточная сфера. Чем крупнее желточный мешок, тем больше площадь соприкосновения перибласта с поверхностью желточного мешка. При вылуплении свободный эмбрион уже имеет развитую сеть сосудов, образованных печеночно-желточной веной, которые покрывают всю поверхность желточного мешка.

Известно, что при резорбции желтка на ⅓ наблюдается резкое и прогрессирующее увеличение активности кислых протеиназ, продолжающееся до полной утилизации желтка (Тимейко, Новиков, 1987). Тем не менее после вылупления характер резорбции желтка остается линейным (Новиков и др., 1991). Там же указывается, что процесс резорбции желточного мешка протекает в относительной независимости от процессов увеличения массы тела. По нашему мнению, это связано с тем, что развитие перибласта и сосудистой системы находится в прямой зависимости от размеров желточного мешка. Как следствие, скорость

утилизации содержимого желточного мешка контролируется не активностью ферментов (по нашему мнению, она избыточна), а возможностями транспортной системы.

Учитывая приведенные данные, следует, что конечные размеры личинок, переходящих на внешнее питание, и темпы их роста в эмбрионально-личиночный период зависят от начального количества желтка, влияние других факторов ничтожно мало.

Известно, что с началом питания резко возрастает коэффициент вариации массы тела молоди (Слуцкий, 1978; Шатуновский, 2001; Самарский, 2005). Считаем, что у кеты это вызвано окончанием контроля роста эффектами, связанными с питанием за счет желточного мешка. В этот период и в последующем начинают проявляться темпы роста, которые будут свойственны уже для малькового этапа. Так, к началу питания коэффициент корреляции массы тела личинок с массой желточного мешка, имевшегося при вылуплении, составлял 0,82. Через 20 сут после начала питания он снизился до 0,49, а через 40 сут связь отсутствовала вовсе.

При наблюдении за группами молоди кеты связь массы тела с начальными размерами икры сохранялась более продолжительное время (Самарский, 2005). Это было связано с тем, что не было возможности отследить рост отдельных экземпляров, как это сделано в настоящей работе.

В результате разноразмерности ооцитов внутри стада (популяции) минимальные и максимальные значения массы тела молоди в конце резорбции желточного мешка обычно различаются почти в два раза (Самарский, 2005). При этом известны факты формирования стаек у молоди рыб и лососевых по признаку размеров массы тела, известны зависимости скорости плавания от размеров тела молоди и связанная с этим селективность выбора жертвы хищником. Существует прямолинейная зависимость между выживаемостью и размером молоди лососевых (Канидьев, 1984).

До перехода на внешнее питание мы наблюдаем пример селективной равноценности разных генотипов, что, по мнению Э. Майра, является наиболее мощным источником случайности и неопределенности в эволюции (Майр, 1974). По имеющимся у нас предварительным данным, есть все основания полагать, что аналогичный характер роста массы тела в эмбрионально-личиночный период характерен для кижуча, симы и горбуши.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Связь длины тела с ее массой у свободных эмбрионов и личинок кеты слабая, поэтому длина тела не может выступать как самостоятельный показатель процесса роста. При изучении особенностей изменения длины тела в эмбрионально-личиночный период необходимо ее рассматривать совместно с ростом массы тела.

При проведении исследований, связанных с наследуемостью размеров тела и темпов роста кеты (вероятно, и у всех лососевых), необходимо учитывать время, необходимое для того, чтобы у личинок и молоди исчезла связь с начальными размерами икры. Как показали наблюдения, такая связь безусловна до окончания резорбции желточного мешка, и сохраняется более месяца уже после начала потребления личинками внешней пищи. Если не учитывать эти факты, будут возникать значительные искажения получаемых результатов.

В эмбрионально-личиночный период у кеты основная роль в формировании размеров тела принадлежит начальным запасам желточного мешка. Чем он больше, тем выше темп роста и тем крупнее личинки. Данный механизм, не связанный с наследственностью, может приводить к экологической и трофической специализации у молоди кеты (возможно, и у других представителей рода *Oncorhynchus*) и оказывать значительное влияние на дальнейшую динамику стада. При этом в разные экологические ниши отдельные экземпляры могут попадать случайным образом. Это можно расценивать как дополнительный механизм поддержания биологического разнообразия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Волобуев В.В. 1984. Об особенностях размножения кеты *Oncorhynchus keta* (Walbaum) (Salmonidae) и экологии ее молоди в бассейне реки Тауй (североохотоморское побережье) // Вопр. ихтиологии. Т. 24. Вып. 6. С. 953–963.

Галкина З.И. 1968. Влияние размеров и возраста самок лососевых на потомство. Автореф. дис. … канд. биол. наук. Л. 24 с.

Галкина З.И. 1969. Влияние размеров и интенсивности окраски икринок на эмбриональное развитие и рост радужной форели // Изв. Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Т. 68. С. 173–186.

Дгебуадзе Ю.Ю. 2001. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука. 276 с.

Канидьев А.Н. 1984. Биологические основы искусственного разведения лососевых рыб. М.: Легкая и пищ. пром-сть. 216 с.

Майр Э. 1974. Популяции виды и эволюция. М.: Мир. 460 с.

Матвеев Б.С. 1951. Индивидуальные различия темпов роста и дифференцировки осетровых рыб в условиях искусственного разведения // Тр. ин-та морфологии животных им. А.Н. Северцова. Вып. 5. С. 156–163.

Мейен В.А. 1940. О причинах колебания размеров икринок костистых рыб // Докл. АН СССР. Т. 28, №7. С. 654–656.

Мина М.В. 1981. Задачи и методы изучения роста рыб в природных условиях // Совр. проблемы ихтиологии. М.: Наука. С. 177–193.

Морозов А.В. 1951. О расхождении в росте молоди рыб и причинах этого расхождения // Зоологич. журнал. Т. 30. Вып 5. С. 457.

Никольский Г.В. 1974. Теория динамики стада рыб. М.: Пищ. пром-сть. 447 с.

Новиков Г.Г., Куфтина Н.Д., Зайцева И.И. 1991. Особенности роста зародышей и утилизации желтка в раннем онтогенезе атлантического лосося *Salmo salar* L. Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва. Сб. науч. тр. Вып. 307. С. 116–138.
Павлов Д.А. 2001. Изменчивость параметров яиц костистых рыб и ее эволюционные последствия // Вопр. рыболовства. Приложение 1. М.: Нац. рыбн. ресурсы. С. 215–218.
Плохинский Н.А. 1970. Биометрия. М.: МГУ. 367 с.
Поляков Г.Д. 1975. Экологические закономерности популяционной изменчивости рыб. М., Наука. 158 с.
Привольнев Т.И. 1960. Влияние величины икринок на рост лосося (*Salmo salar* L.) // Тр. Томского гос. ун-та. Серия биол. Т. 148. С. 93–102.
Самарский В.Г. 2005. Формирование размерного состава молоди кеты и структуры ее чешуи в условиях искусственного воспроизводства. Дис. … канд. биол. наук. МГУТУ. 167 с.
Слуцкий Е.С. 1978. Фенотипическая изменчивость рыб (селекционный аспект). Изменчивость рыб // Изв. ГосНИОРХ. Л. Т.134. С. 3–132.
Смирнов А.И. 1954. Вопросы рационализации биотехники разведения на Сахалине // Тр. Сов. по вопр. лосос. хоз-ва Дальнего Востока. М.: АН СССР. С. 94–110.
Тимейко В.Н., Новиков Г.Г. 1987. Протеолитическая активность пищеварительного тракта семги *Salmo salar* L. в процессе личиночного развития // Вопр. ихтиологии. Т. 27, № 2. С. 300–306.
Шатуновский М.И. 2001. Механизмы и адаптивное значение размерно-весовой изменчивости молоди рыб // Вопр. рыболовства. Приложение 1. М.: Нац. рыбн. ресурсы. С. 296.
Ястребков А.А. 1965. Индивидуальная и внутрипопуляционная вариабельность размеров икринок горбуши и кеты // Тр. Мурманского биол. ин-та. Вып. 9. Т. 13. С. 26–32.
Beacham T.D. 1987. Genotype-environment interaction in growth of chum salmon // Can. Tech. Fish. Aquat. Sci. N. 1517. 11 p.
Beacham T.D., Murray C.B. 1986. Comparative developmental biology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the Fraser River, British Columbia // Can. J. Fish. Aquat. Vol. 43. P. 252–262.
Brown M.E. 1946. The growth of brown trout (*Salmo trutta* Linne). 1. Factors influencing the growth of trout fry // J. Exp. Biol. Vol. 22. N. 3–4. P. 118–129.
Fowler L.G. 1972. Growth and mortality of fingerling chinook salmon as affected by egg size // Progr. Fish-Cult. N. 34 (2). P. 66–69.
Heming T.A. 1982. Effects of temperature on utilization of yolk by Chinook salmon (*Oncorhynchus tschawytscha*) eggs and alevins. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 39. 1. 184–190.
Kamler E., Kato T. 1983. Efficiency of yolk utilisation by *Salmo gairdneri* in relation to incubation temperature end egg size // Pol. Arch. Hydrobiol. Vol. 30. P. 271–306.
Valdimarsson S.K., Skulason S., Snorrason S.S. 2002. The relationship between egg size and the rate of early development in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* // Environmental biology of fishes. Vol. 65. N. 4. P. 463–468.

УДК 639.3.03

УСТОЙЧИВОСТЬ ЛИЧИНОК И МАЛЬКОВ ТУГУНА *COREGONUS TUGUN* И НЕЛЬМЫ *STENODUS LEUCICHTHYS NELMA* К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Сергей Михайлович Семенченко, Наталья Владимировна Смешливая
Тюменский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Тюмень, Россия, nvsmeshlivaya@gmail.com, semsm07@yandex.ru

Аннотация. В лабораторных условиях изучали способность молоди тугуна и нельмы переносить условно кратковременное (3 ч) и продолжительное (3 сут) воздействие экстремально высоких температур. Исследования проводили с момента вылупления личинок до появления у сеголеток чешуйного покрова. Рыб перед опытами акклимировали в течение суток при температуре 21 °С. Затем поднимали температуру со скоростью 2 °С/ч до опытного значения. Аналогично после опытов снижали температуру. Результат оценивали по соотношению суммарного количества погибших рыб в течение опыта и погибших через сутки после его завершения. Максимальная температура, не вызывающая гибели рыб при условно продолжительном воздействии, последовательно возрастала в изученном интервале онтогенеза у тугуна с 22 до 26 °С, у нельмы — с 23 до 27 °С. Минимальная температура гибели всех опытных рыб при условно кратковременном воздействии, начиная с конца малькового периода, как у тугуна, так и у нельмы равнялась 29 °С. У ранних личинок этот показатель был равен 28 °С у тугуна и 27 °С у нельмы.

Ключевые слова: сиговые рыбы, тугун, нельма, личинки рыб, мальки, лабораторный опыт, термотолерантность, терморезистентность, летальная температура

RESISTANCE OF LARVES AND FRY OF *COREGONUS TUGUN* AND *STENODUS LEUCICHTHYS NELMA* TO EFFECTS OF HIGH TEMPERATURES

Sergey M. Semenchenko, Natalya V. Smeshlivaya
Tyumen Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tyumen, Russia, nvsmeshlivaya@gmail.com, semsm07@yandex.ru

Abstract. The ability of juvenile tugun and nelma (white salmon) to sustain at conditionally short-term (3 h) and long-term (3 days) exposure to extremely high temperatures was studied in laboratory conditions. The experiment was provided from the moment of hatching of the larvae until the appearance of scale cover in the underyearlings. Before the experiments, the fish were acclimated for a day at the temperature of 21 °C. Then the temperature was raised at the rate of 2 °C/h to the experimental value. The temperature was lowered same way after the experiments. The result was evaluated by the ratio of the total number of dead fish during the experiment and the number of dead a day after its completion. The maximum temperature, which does not cause death of fish under conditionally long exposure, consistently increased in the studied interval of ontogeny in tugun from 22 to 26 °C, in white salmon from 23 to 27 °C. The minimum temperature of death of all experimental fish under conditionally short-term exposure, starting from the end of the juvenile period, was 29 °C for both species. In early larvae, this value was 28 °C for tugun and 27 °C for white salmon.

Keywords: whitefish, tugun, nelma, fish larvae, fry, laboratory experiment, thermal tolerance, thermal resistance, lethal temperature

В настоящее время в Российской Федерации с целью осуществления массового искусственного воспроизводства популяций ценных сиговых рыб (Coregonidae), находящихся в критическом состоянии, проводятся работы по формированию маточных стад в индустриальных условиях, наращиваются масштабы выращивания и выпуска жизнестойкой молоди (Литвиненко и др., 2015). В Сибири и на Урале по организационно-экономическим причинам в ряде случаев выращивание сиговых рыб осуществляется существенно южнее их ареала (Litvinenko et al., 2016). Как показывает рыбоводная практика, при выращивании сиговых в садках и в озерах в период летнего прогрева водоемов температура воды может достигать значений, приводящих к частичной или даже полной гибели рыбы. В связи с этим

при подборе водоемов для рыбоводных целей необходимо ориентироваться на предельно допустимые значения температуры, ограничивающие возможность выращивания молоди сиговых рыб — верхний температурный предел технологической нормы. Этот технологический показатель тесно связан с такой эколого-физиологической характеристикой, как верхняя граница зоны термотолерантности объекта выращивания. Под зоной термотолерантности понимается диапазон температуры среды, в котором организм способен существовать длительное время, нормально развиваясь (Лапкин и др., 1981; Лапкин, Соколов, 1989). При прогнозировании последствий экстремальных температурных воздействий на объект аквакультуры в случае аномальных или аварийных ситуаций актуальна оценка границ его зоны терморезистентности — диапазон температур, в котором организм способен находиться лишь ограниченное время, после чего происходят необратимые нарушения жизненно важных функций, приводящие к его гибели (Лапкин и др., 1981; Лапкин, Соколов, 1989). Тугун и нельма относятся к сравнительно новым перспективным объектам аквакультуры и искусственного воспроизводства, эколого-физиологические компоненты технологического процесса для которых находятся в стадии изучения. В частности, температурные границы жизнедеятельности этих видов рыб детально не изучены.

Цель исследования: экспериментально оценить значения верхней границы зон термотолерантности и терморезистентности в раннем постэмбриональном онтогенезе тугуна и нельмы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспериментальные работы по оценке терморезистентности и термотолерантности личинок и мальков тугуна и нельмы проводили в лаборатории Госрыбцентра (г. Тюмень) в апреле–июне 2020 г. Материал для исследований доставили из Тобольского регионального рыбопитомника в виде проинкубированной икры на последнем этапе эмбриогенеза. Икра исследуемых видов была получена в октябре 2019 г. от производителей, выращенных на научно-производственном участке «Волково» (Тобольский район), исходно относящихся к популяциям р. Северной Сосьвы (уральский приток р. Оби).

Для определения верхней границы зоны термотолерантности в каждой серии опытов одновозрастную молодь по 10–20 экз. отсаживали в 5–6 аквариумов, в которых поддерживали опытную температуру от 22 до 29 °С с шагом 1,0 °С. Использовали аквариумы объемом 50 л, оснащенные термореле с нагревательными элементами. Циркуляцию и аэрацию воды в аквариумах обеспечивали за счет микрокомпрессоров. Начальная температура во всех опытах составляла 21 °С. Продолжительность адаптации молоди к условиям опыта и акклимации к начальной температуре составляла 1 сут после посадки в аквариумы. Затем температуру в аквариумах поднимали со скоростью 2 °С/ч до определенного опытного значения. Колебания опытной температуры не превышали ±0,2 °С. Экспозиция воздействия опытной температуры составляла 3 сут. После завершения опытов температуру в течение 3 ч снижали до 21 °С и в течение последующих суток наблюдали за молодью с целью выявления латентного воздействия высоких температур. Учет погибших особей в опытах проводили ежедневно. При подсчетах суммировали число особей, погибших непосредственно в опыте, в течение последующих суток. В каждой серии опытов с одновозрастными рыбами регистрировали значения температуры гибели 0, 50 и 100% отсаженных рыб. Верхней границей зоны термотолерантности в серии опытов считали максимальную опытную температуру, при которой выживало 100% рыб. Молодь кормили науплиями артемии на уровне поддерживающего рациона. Ежедневно проводили чистку аквариумов и частичную подмену воды — до 50%. Температуру подменяемой воды выравнивали до опытных значений. Всего с каждым видом было проведено по 6 серий опытов с молодью разной массы. Исследованиями охвачен период постэмбрионального онтогенеза от первой личиночной стадии до этапа сеголетки.

Методика оценки верхней границы терморезистентности, в общих чертах, аналогична описанной для термотолерантности. С целью имитации хода температур в течение наиболее теплого периода суток, экспозиция при повышенной температуре составляла три часа. Значения опытных температур были выбраны в соответствии с термическими условиями в естественных водоемах в теплый период года — от 24 до 30 °С. После акклимации к лабораторным условиям при 21 °С температуру в опытных аквариумах каждой серии поднимали до заданного значения, после чего поддерживали ее на постоянном уровне в течение трех часов. В последующие три часа температуру равномерно понижали до первоначальной величины — 21 °С. Количество погибших рыб подсчитывали через сутки после завершения опыта. Опыты в каждой серии проводили с интервалом температур в 1 °С. Молодь в опытах не кормили.

Этапы личиночного и малькового развития приведены по Ж.А. Черняеву (1982): X — этап смешанного питания; XI — полное экзогенное питание; XII — дифференциация непарных плавников; XIII — наполнение плавательного пузыря воздухом; XIV — собственно мальковый; XV — сеголетковый.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты опытов по оценке влияния высоких температур на молодь тугуна и нельмы представлены в таблицах 1 и 2.

Устойчивость к длительному (3 сут) воздействию высоких температур как тугуна, так и нельмы возрастает в постэмбриональном онтогенезе. Значение температуры, не оказывающей негативного влияния на выживаемость рыб в опыте, от начала к концу личиночного периода тугуна увеличивалось с 22 до 25 °С, у нельмы — с 23 до 24 °С. У ранних сеголеток тугуна этот показатель составил 26 °С, у сеголеток нельмы — до 27 °С. Минимальная температура опыта, приводящая к полной гибели рыб, на изучаемом интервале онтогенеза у тугуна изменялась с 28 до 29 °С, а у нельмы — с 27 до 29 °С.

При кратковременном (3 ч) воздействии температуры на выживаемость молоди тугуна и нельмы общий характер зависимости был такой же, как и при длительном воздействии, с увеличением значений оцениваемых показателей на 1–2 °С (таблицы 1 и 2).

Верхняя граница терморезистентности тугуна и нельмы существенно не отличается (рис. 1 и 2), достигая на XII этапе 29 °С, в дальнейшем не изменяется. Верхняя граница термотолерантности (верхняя пороговая летальная температура) возрастает в течение личиночного периода и достигает максимума у сеголеток. В результате диапазон температур зоны терморезистентности по мере личиночно-малькового развития сужается с 4–6 °С до 2–3 °С. В целом можно сделать вывод, что личинки тугуна более устойчивы к негативному вли-

Таблица 1. Результаты опытов по оценке воздействия высоких температур на выживаемость личинок (X–XIII этапы развития), мальков (XIV этап развития) и сеголеток тугуна (XIV этап развития) при экспозиции 3 сут и 3 ч
Table 1. Results of the experiments on evaluation of the effects of high temperatures on the survaval of larvae (X–XIII stages of development), fry (XIV stages) and underyearlings (XIV stage) of tugun at the exposure of 3 days and 3 hours

Этап развития	Масса рыб*, мг	Длина рыб*, мм	Выживаемость, %	Температура, °С	
				Экспозиция 3 сут	Экспозиция 3 ч
X	3,5–3,8	9,3–9,5	100	22	24
			≥ 50	25	27
			0	28	28
XI	7,0–9,3	11,7–12,5	100	23	26
			≥ 50	26	27
			0	28	28
XIII	20,7–28,2	16,2–18,3	100	25	26
			≥ 50	26	28
			0	29	29
XIII	88,8	23,5	100	–	27
			≥ 50	–	28
			0	–	29
XIII–XIV	279,7	31,4	100	25	–
			≥ 50	26	–
			0	28	–
XV	771,9–963,0	42,9–44,6	100	26	27
			≥ 50	27	28
			0	29	29

Примечание: * — средние значения массы и длины рыб из разных повторностей опыта

Таблица 2. Результаты опытов по оценке воздействия высоких температур на выживаемость личинок (X–XIII этапы развития) и сеголеток тугуна (XIV этап развития) нельмы при экспозиции 3 сут и 3 ч
Table 2. Results of the experiments on evaluation of the effects of high temperatures on the survaval of larvae (X–XIII stages of development) and fry (XIV stages) of tugun and nelma at the exposure of 3 days and 3 hours

Этап развития	Масса рыб*, мг	Длина рыб*, мм	Выживаемость,%	Температура, °С	
				Экспозиция 3 сут	Экспозиция 3 ч
X	15,4	14,8	100	23	25
			≥ 50	24	26
			0	27	27
XII	27,1–32,3	18,7–20,3	100	23	27
			≥ 50	26	27
			0	28	28
XIII	43,8–66,0	21,7–23,9	100	24	27
			≥ 50	26	28
			0	28	29
XIII	209,8–226,2	29,2–30,5	100	24	27
			≥ 50	26	28
			0	28	29
XV	799,6–860,1	46,5–48,0	100	26	27
			≥ 50	27	28
			0	28	29
XV	1993,9–2666,1	58,9–63,2	100	27	28
			≥ 50	28	28
			0	29	29

Примечание: *— средние значения массы и длины рыб из разных повторностей опыта

янию высоких температур по сравнению с личинками нельмы, что подтверждается в отдельных опытах при совместных посадках этих видов. На мальковом и сеголетковом этапах ситуация меняется на противоположную.

Исходя из принципа «предосторожного подхода», верхним пределом технологической нормы считали значения температуры на 1 °С меньше верхней границы зоны термотолерантности (рис. 1 и 2, таблица 3).

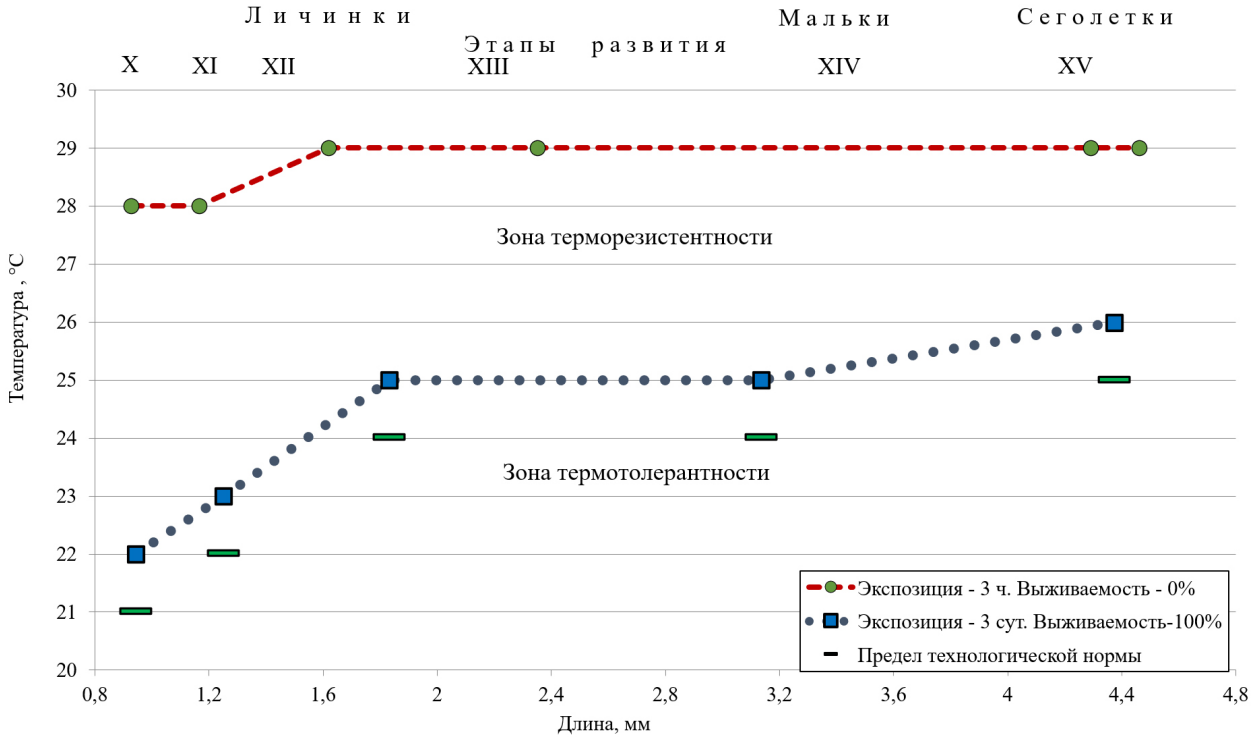

Рис. 1. Верхние границы зон терморезистентности (экспозиция 3 ч) и термотолерантности (экспозиция 3 сут) в раннем постэмбриональном онтогенезе тугуна
Fig. 1. The upper boundaries of the zones of thermal resistance (3-hour exposure) and thermal tolerance (3-day exposure) in the early postembryonic ontogenesis of tugun

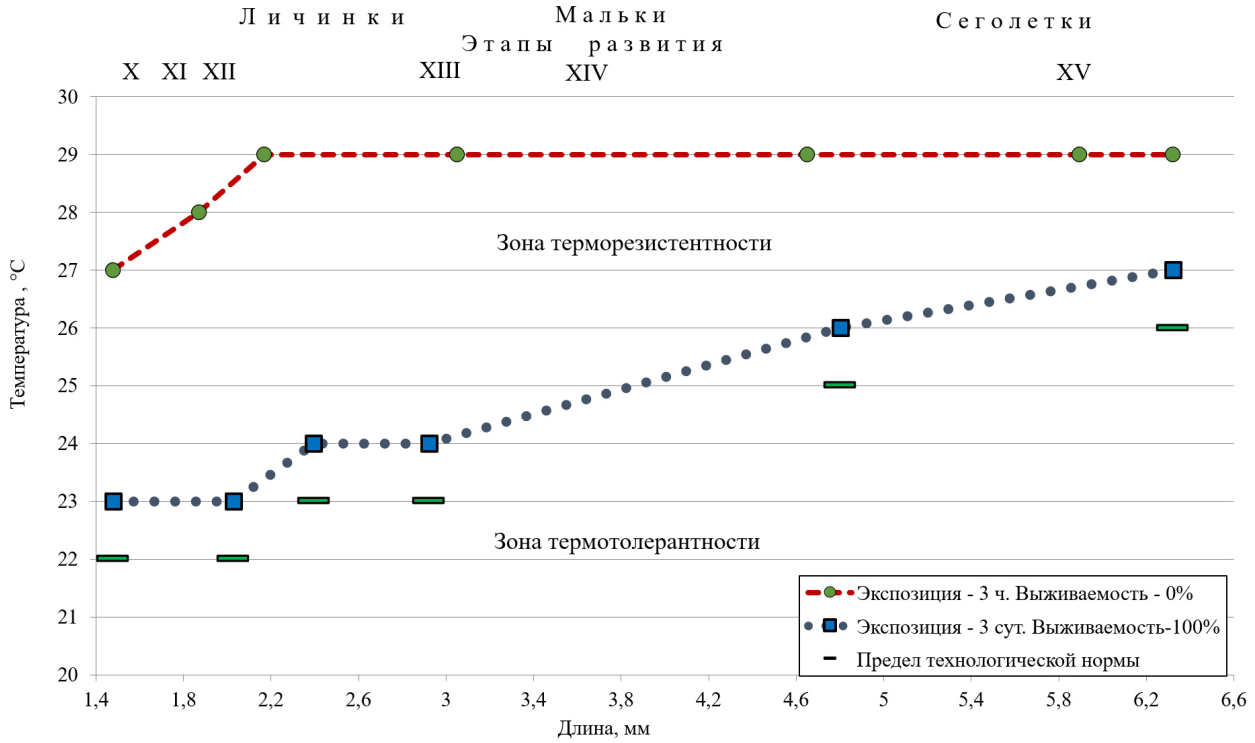

Рис. 2. Верхние границы зон терморезистентности (экспозиция 3 ч) и термотолерантности (экспозиция 3 сут) в раннем постэмбриональном онтогенезе нельмы
Fig. 2. The upper boundaries of the zones of thermal resistance (3-hour exposure) and thermal tolerance (3-day exposure) in the early postembryonic ontogenesis of nelma

Таблица 3. Верхние пределы технологической нормы температуры при выращивании молоди тугуна и нельмы
Table 3. The upper limits of normal hatchery temperature for rearing juvenile tugun and nelma

Вид	Ранние личинки*	Поздние личинки	Мальки	Сеголетки
	Температура, °С			
Тугун	21	24	24	25
Нельма	22	23	24	25

Примечание: * — к «ранним личинкам» условно отнесен период личиночного развития до этапа заполнения плавательного пузыря (XIII этап развития)

Выявленный у тугуна и нельмы эффект повышения устойчивости к воздействию высоких температур по мере личиночно-малькового развития может иметь адаптационный характер. Молодь сиговых рыб в большинстве популяций до сеголеткового этапа нагуливается в пойменных мелководных водоемах (сорах) речных систем (Москаленко, 1971; Шулаев, Филатов, 1989; и др.), которые в середине лета могут прогреваться до сублетальных температур. Попадание в мае–июне личинок сиговых в температурные условия, превышающие по значению верхнюю границу зоны термотолерантности, в пределах ареала маловероятно.

Известно, что абсолютные значения температурных критериев жизнедеятельности рыб существенно зависят от ряда факторов (возраст, размеры, стадия развития; время года, режим акклимации перед опытами, методика экспериментов и т. д.), что затрудняет корректное сравнение полученных и литературных данных (Голованов, 2013). Наиболее близкой по физиологическому смыслу к показателю «верхняя граница зоны терморезистентности» является верхняя пороговая летальная температура. В частности, для молоди чира (*C. nasus*) этот показатель в весенне-летний период определен на уровне 28,5–30,3 °С (Шкорбатов, 1963); для чудского сига (*C. lavaretus marenoides*) — 26,6–29,5 °С (Черникова, 1964). Верхняя граница зоны термотолерантности байкальского омуля (*C. migratorius*), оцененная по аналогичной нашему исследованию методике, в процессе личиночного и малькового развития смещается с 24 до 27 °С (Семенченко, 1994). Приведенные примеры позволяют полагать, что молодь тугуна и нельмы существенно не отличается от других видов сиговых рыб по устойчивости к воздействию экстремально высоких температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Верхняя граница зоны термотолерантности последовательно возрастает в личиночный и мальковый периоды развития у тугуна с 22 до 26 °С, у нельмы — с 23 до 27 °С.

Минимальная температура гибели всех опытных рыб при условно кратковременном воздействии, начиная с конца малькового периода (этап заполнения плавательного пузыря), как у тугуна, так и у нельмы равна 29 °С. У ранних личинок этот показатель был равен 28 °С у тугуна и 27 °С у нельмы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Голованов В.К. 2013. Температурные критерии жизнедеятельности пресноводных рыб. М.: Полиграф-плюс. 300 с.

Лапкин В.В., Свирский А.М., Голованов В.К. 1981. Возрастная динамика избираемых и летальных температур рыб // Зоологич. журнал. Т. 60. Вып. 12. С. 1792–1801.

Лапкин В.В., Соколов В.А. 1989. Термоустойчивость рыб при различных скоростях изменения температуры воды / Экологическая физиология и биохимия рыб: Тез. докл. 7 Всесоюз. конф. Ярославль. Т. 1. С. 258–259.

Литвиненко А.И., Семенченко С.М., Капустина Я.А. 2015. Искусственное воспроизводство ценных видов рыб Урала и Сибири: состояние, проблемы и перспективы // Тр. ВНИРО. Т. 153. С. 74–84.

Москаленко Б.К. 1971. Сиговые рыбы Сибири (Биологические основы промышленной эксплуатации и воспроизводства сырьевых запасов). М.: Пищ. пром-сть. 184 с.

Семенченко С.М. 1994. Экологические основы искусственного воспроизводства баргузинской популяции байкальского омуля. Автореф. дис. … канд. биол. наук. СПб.. 26 с.

Черникова В.В. 1964. Интенсивность дыхания молоди чира (*Coregonus nasus*), отношение ее к температуре, содержанию кислорода и угольной кислоты в воде // Изв. ГосНИОРХ. Т. 58. С. 117–122.

Черняев Ж.А. 1982. Воспроизводство байкальского омуля. М.: Легкая и пищ. пром-сть. 128 с.

Шкорбатов Г.Л. 1963. Акклиматизация сиговых рыб в водоемах Харьковской области // Тр. Всесоюз. гидробиол. общества. Т. 13. С. 242–254.

Шулаев Е.Н., Филатов А.Ю. 1989. Относительная численность и рост молоди сиговых рыб реки Соби // Тр. ГосНИОРХ. Вып. 305. С. 125–134.

Litvinenko A., Semenchenko S., Smeshlivaya N., Sorgeloos P. 2016. Modern aquaculture of whitefish in Ob basin in Siberia, Russia // World aquaculture. № 3. P. 20–23.

УДК 639.2.053.32

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛИЗАРИНА КРАСНОГО ПРИ МЕЧЕНИИ ЭМБРИОНОВ И ЛИЧИНОК СИГОВЫХ РЫБ

Наталья Владимировна Смешливая, Сергей Михайлович Семенченко

Тюменский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Тюмень, Россия, nvsmeshlivaya@gmail.com, semsm07@yandex.ru

Аннотация. Оценивали перспективы использования ализарина красного для мечения эмбрионов и личинок сиговых рыб. Для получения флуоресцентной метки на отолитах в лабораторных условиях проводили обработку эмбрионов раствором ализарина красного. Мечение зародышей тугуна *Coregonus tugun*, нельмы *Stenodus leucichthys nelma*, муксуна *C. muksun*, чира *C. nasus* и пеляди *C. peled* осуществляли после наступления стадии начала сокращения сердечной трубки. Зародышей помещали в раствор красителя различной концентрации и варьировали экспозицию: 200 и 400 мг/л (экспозиция 1440 мин), и 1000 и 5000 мг/л (экспозиция 15 мин). При концентрациях 1000 и 5000 мг/л использовали осмотический шок, создаваемый 5%-м раствором хлорида натрия. В аналогичных условиях проводили мечение эмбрионов пеляди на стадии бластуляции, которое оказалось неэффективным в связи с высокой смертностью эмбрионов и плохо регистрируемой меткой у личинок и молоди. Окрашивание эмбрионов после пигментации глаз и начала сокращения сердечной трубки не оказывало негативного влияния на выживаемость и позволило получить хорошо регистрируемую флуоресцентную метку у личинок и молоди. Для мечения предличинок нельмы, чира, тугуна, пеляди, а также личинок пеляди применяли раствор ализарина красного концентрацией 200 и 120 мг/л. Экспозиция предличинок и личинок составляла 4 и 6 ч соответственно. Выживаемость личинок за 10 сут наблюдений после мечения находилась на уровне 97–99% и статистически не отличалась в опытных и контрольных вартантах вне зависимости от вида рыб. Негативного влияния применяемых вариантов мечения личинок пеляди на их рост и выживаемость в течение 14 дней не выявили. Во всех вариантах окрашивания предличинок и однодневных личинок флуоресцентная метка у молоди была хорошо различима. Видовой специфики влияния мечения ализарином красным эмбрионов и личинок на выживаемость и возможность регистрации меток не обнаружили.

Ключевые слова: ализарин красный, сиговые, мечение, флуоресцентная метка, отолит, эмбрион, предличинка, личинка, выживаемость

MARKING OF WHITEFISH EMBRYOS AND LARVAE WITH ALIZARIN RED

Natalya V. Smeshlivaya, Sergey M. Semenchenko

Tyumen Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tyumen, Russia, nvsmeshlivaya@gmail.com, semsm07@yandex.ru

Abstract. We evaluated the prospects of using alizarin red in tagging of whitefish embryos and larvae. We treated the embryos with solution of alizarin red to obtain fluorescent otolith tag in the laboratory. The embryos of *Coregonus tugun*, *Stenodus leucichthys nelma*, *C. muksun*, *C. nasus* and *C. peled* were marked on reaching the stage of the cardiac tube contraction at alizarin concentrations of 200 and 400 mg/l with an exposure of 1440 min and at alizarin concentrations of 1000 and 5000 mg/l with an exposure of 15 min. Osmotic shock was used at concentrations of 1000 and 5000 mg/l, created by a 5% sodium chloride solution. Marking of peled embryos at the blastulation stage was carried out under similar terms, but the marking proved ineffective due to the high mortality of embryos and poorly recorded marks in larvae and juveniles. Marking the embryos after the eyes pigmentation and the beginning of contraction of the cardiac tube did not have negative effect on survival and allowed to obtain well-recorded fluorescent mark in larvae and juveniles. Marking with alizarin red was performed on the prelarvae and larvae whitefishes at concentrations of 200 and 120 mg/l with exposures of 4 and 6 hours, respectively. The survival rate of larvae for 10 days of observation after treatment was at the level of 97–99% and did not differ statistically in experimental and control variants in all species considered. There was no negative effect of the applied variants of marking of peled larvae on their growth and survival for 14 days. The fluorescent mark in juveniles was clearly distinguishable in all variants of staining of prelarvae and one-day larvae. Species specificity of the effect of alizarin red marking of embryos and larvae on survival and the possibility to find the marks was not revealed.

Keywords: alizarin red, whitefish, markng, fluorescent mark, otolith, embryo, prelarva, larva, survival rate

Для оценки эффективности искусственного воспроизводства используют мечение молоди, выпускаемой с рыбоводных заводов. Существуют различные способы мечения рыбы: ампутация плавников или жаберных крышек, введение полимерных красителей в кожу, чипирование, прикрепление навесных, магнитных, радиотелеметричесих, кодированных проволочных меток. Перечисленные способы мечения малоприменимы при искусственном воспроизводстве сиговых в связи со сравнительно мелкими размерами выпускаемой молоди. Кроме перечисленных способов, в лососеводстве широко используется мечение регистрирующих структур отолитов: термическое и сухое маркирование, а также формирование различных флуоресцентных меток (Акиничева, Рогатных, 1996; Сафроненков и др., 2000; Акиничева, 2006; Baer, Rosch, 2008). По сравнению с другими объектами аквакультуры у сиговых рыб перечисленные методы мечения применяются ограниченно. В частности, были испытаны термический способ мечения и мечение флуоресцентными красителями и тетрациклином. Мечение сига *Coregonus lavaretus* в эмбриональный период термическим способом проводили R.R. Beltran et al. (1995), изменяя температуру воды с 5,5 до 10,5 °С. Однако авторы указывают, что термометка на отолитах была едва различима. Кроме того, по мнению этих авторов, на метку могут влиять различные факторы, такие как температура выращивания, кормление, транспортировка. В дальнейшем данный метод на сиговых видах не получил развития. Первые работы по формированию флуоресцентных меток при помощи тетрациклина были начаты Dabrowski и Tsukamoto (1986). Авторы утверждали, что при помощи тетрациклина на отолитах можно делать метки с различным рисунком для разных групп рыб. Тем не менее мечение тетрациклином отолитов у личинок сиговых рыб приводило к некачественным результатам и требовало большого количества антибиотика при массовой маркировке (Dabrowski, Tsukamoto, 1986). Кроме того, авторы Nagięć et al. (1988) указывали на то, что метка может утрачиваться после первой зимовки. В последующих работах для минимизации негативного воздействия антибиотика мечение тетрациклином проводили в эмбриогенезе с использованием «осмотического шока», что позволило значительно снизить смертность эмбрионов (Ruhle, Winecki-Kfihn, 1992). Тем не менее в настоящее время европейские рыбоводные заводы, выпускающие личинок и молодь сиговых рыб в целях воспроизводства, отказались от использования тетрациклина для проведения массового мечения.

Первые работы по мечению сиговых рыб ализарином красным провели на предличинках европейской ряпушки *C. albula* в Германии (Eckmann et al., 1998). Первое массовое мечение 2 млн личинок европейской ряпушки из оз. Вигры (Польша) было проведено в 2000 г. P. Poczyczycski et al. (2011). Авторы отмечают, что маркирование личинок ализарином красным эффективно и нетрудозатратно, а флуоресцентные метки остаются на отолитах не менее четырех–пяти лет. Кроме того, мечение ализарином красным можно проводить и в период эмбрионального развития (Eckmann, 2003).

Несмотря на значительные объемы искусственного воспроизводства сиговых рыб в нашей стране, работы по массовому мечению практически не проводятся, что затрудняет оценку эффективности работ по воспроизводству.

Цель: оценить влияние мечения ализарином красным на выживаемость эмбрионов, рост личинок сиговых рыб и на возможность регистрации меток на отолитах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Экспериментальные работы по мечению сиговых рыб проводили в лаборатории Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО». Для мечения использовали икру тугуна *C. tugun*, нельмы *Stenodus leucichthys nelma*, муксуна *C. muksun*, чира *C. nasus* и озерной формы пеляди *C. peled*, предличинок нельмы, чира, тугуна, предличинок и личинок озерной формы пеляди. Икра тугуна, нельмы, муксуна и чира получена от производителей, содержащихся на УНП «Волково» Тюменского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (Тобольский район). Сбор икры пеляди был проведен на оз. Ендырь (Ханты-Мансийский АО).

Методика мечения эмбрионов основана на результатах работы R. Eckmann (2003) по окрашиванию икры сига *C. lavaretus*. Мечение предличинок и личинок проводили, основываясь на работах R. Eckmann et al. (1998) и P. Poczyczycski et. al. (2011) по окрашиванию предличинок и личинок европейской ряпушки *C. albula*.

Мечение икры тугуна, нельмы, муксуна и чира проводили после наступления стадии сокращения сердечной трубки (Кугаевская, Сергиенко, 1988). Икру озерной пеляди метили дважды: на стадии бластуляции и на стадии начала сокращения сердечной трубки. За несколько дней до мечения икру доставляли из инкубационного цеха Тобольского регионального рыбопитомника в изотермическом контейнере при температуре 1 °С. В лаборатории икру инкубировали в чашках Петри (Семенченко, Смешливая, 2017) при температу-

ре 1 °С. Мечение проводили ализарином красным. Концентрация ализарина красного составляла 200, 400, 1000 и 5000 мг/л. При высоких концентрациях 1000 и 5000 мг/л экспозиция составляла 15 мин, при низких — 1440 мин. При экспозиции 15 мин использовали осмотический шок, создаваемый 5%-м раствором хлорида натрия. При экспозиции 1440 мин осмотический шок не применяли (таблица 1).

Температура воды в опытах по мечению икры составляла 4,5–5,0 °С. Стабилизацию температуры проводили за счет термостатированных аквариумов, установленных в холодильной установке. Для мечения использовали воду, очищенную путем обратного осмоса. Вода была слабоминерализованная, гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, pH воды 7,1 ед. Активная реакция среды раствора ализарина красного в представленных концентрациях смещалась в кислую сторону до pH 5,9–6,2 ед. Повышение pH проводили при помощи гидрокарбоната натрия до 7,9–8,0 ед. Растворы готовили за сутки до проведения опытов. При использовании осмотического шока хлорид натрия добавляли в приготовленный раствор ализарина красного, так как ализарин красный в соленой воде не растворялся.

С контрольными партиями икры проводили те же манипуляции, что и с опытными. По окончании опытов икру промывали водой и размещали в чашки Петри для дальнейшей инкубации.

Для проведения работ по мечению предличинок и личинок сиговых рыб икру на последних стадиях развития доставляли в лабораторию из инкубационного цеха Тобольского регионального рыбопитомника). Доинкубацию икры в лаборатории проводили в чашках Петри при температуре 1 °С. Для получения предличинок с одинаковой степенью развития проводили стимуляцию вылупления (Семенченко, 2000) на завершающем этапе эмбриогенеза. При мечении озерной формы пеляди в опытах использовали как предличинок, так и личинок после перехода на этап смешанного питания.

Концентрация ализарина красного в опытах составляла 200 и 120 мг/л (таблица 2). Температура воды в опытах с предличинками составляла в среднем 5,0 °С, в опытах с личинками — 7,5 °С. Стабилизацию температуры проводили за счет использования термостатированных аквариумов, установленных в холодильной установке. В процессе окрашивания проводили аэрацию воды в аквариумах. За счет добавления гидроксида натрия активная реакция воды в аквариумах в период мечения была щелочной и снижалась с 8,2 до 7,8 ед. С контрольными партиями личинок проводили те же манипуляции, что и с опытными. По окончании опыта проводили троекратную смену воды в аквариумах.

После мечения опытные и контрольные партии предличинок и личинок содержали в аквариумах объемом 20 л при температуре 15–16 °С в двух повторностях. В каждый аквариум отсаживали по 150 экз. и кормили науплиями артемии, обеспечивая постоянное присутствие корма. При мечении предличинок нельмы, чира, тугуна и озерной пеляди гибель особей в каждой повторности и контроле учитывали в течение 10 дней. Также учитывали количество предличинок, перешедших на смешанный тип питания. В опытах по мечению личинок озерной пеляди (вариант с концентрацией ализарина 200 мг/л и с экспозицией 4 ч) учитывали не только гибель особей, но и сравнивали с контролем в двух повторностях их рост в течение 14 дней. Измерение длины личинок проводили от рыла до конца уростиля при помощи бинокуляра МБС-10. Массу определяли поштучно при помощи весов AND GH-252 с точностью

Таблица 1. Схема экспериментов по мечению икры
Table 1. Scheme of experiments on egg marking

Показатель	Значение					
	Опыт				Контроль	
Концентрация ализарина красного, мг/л	5000	1000	400	200	0	0
Экспозиция, мин	15	15	1440	1440	15	1440
Концентрация NaCl, %	5	5	0	0	5	0
pH, единиц	8					
Количество икры, шт.	100					
Количество повторностей	2					

Таблица 2. Схема экспериментов по мечению предличинок и личинок сиговых рыб
Table 2. Scheme of experiments on marking pre larvae and larvae of whitefish

Показатель	Значение			
	Опыт		Контроль	
Концентрация ализарина красного, мг/л	200	120	0	0
Экспозиция, ч	4	6	4	6
Температура, °С	5,0–7,5			
pH, единиц	7,8–8,2			
Количество предличинок, экз.	100			
Количество личинок, экз.	150			
Количество повторностей	2			

0,01 мг после пятисекундного обсушивания личинки на фильтровальной бумаге. Измерения проводили на живом материале. Всего была измерена 251 личинка.

Для регистрации меток использовали флуоресцентный микроскоп Axio Imager M.2, Carl Zeiss с использованием тройного светофильтра DAPI, FITC и TRITC. Метки просматривали на свежем материале без фиксации у личинок и молоди разной массы.

Перед микроскопированием проводили измерение и взвешивание рыб. Всего были измерены 113 личинок и 44 малька. Отолиты просмотрены у 135 экземпляров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выживаемость эмбрионов при мечении на стадии бластуляции. Более 80% эмбрионов пеляди, окрашенных ализарином красным на стадии бластуляции при концентрациях 200 и 400 мг/л и экспозиции 1440 мин, погибли еще до начала органогенеза. Продолжающие развитие эмбрионы имели морфологические аномалии, такие как микрофтальмия, искривление тела и полностью погибли к концу инкубации. В опытах с высокой концентрацией ализарина красного 5000 и 1000 мг/л и экспозицией 15 мин среднее значение выживаемости эмбрионов к концу инкубации для двух повторностей составляло 25,5 и 42% соответственно (таблица 3). При этом эмбрионы по морфологическим показателям не отличались от контрольной группы и перешли на личиночный этап развития.

Выживаемость эмбрионов при мечении на стадии начала сокращения сердечной трубки. Выживаемость эмбрионов тугуна, муксуна, чира, пеляди при окрашивании ализарином красным на стадии начала сокращения сердечной трубки во всех вариантах окрашивания колебалась от 96 до 100%. Выживаемость эмбрионов нельмы была несколько ниже и варьировала от 92 до 97%. Кроме того, выживаемость эмбрионов нельмы в контроле также была на 1–2% ниже, чем у других исследованных видов (таблица 4). Аномалий в развитии эмбрионов после окрашивания не отмечено.

Выживаемость при мечении предличинок. В процессе мечения ализарином красным гибель предличинок не наблюдалась. При дальнейшем наблюдении единичная гибель особей в опытах и контроле носила случайный характер и была связана с механическим повреждением предличинок и личинок при обслуживании аквариумов (таблица 5). В целом,

Таблица 3. Выживаемость эмбрионов озерной пеляди за период инкубации после окрашивания икры на стадии бластуляции ализарином красным
Table 3. Survival rate of lake peled embryos during the period of incubation after alizarin red staining of eggs at the stage of blastulation

Показатель	Значение					
	Опыт				Контроль	
Концентрация ализарина красного, мг/л	5000	1000	400	200	0	0
Экспозиция, мин	15	15	1440	1440	15	1440
Повторность	Выживаемость, %					
Первая	27	44	0	0	97	98
Вторая	34	40	0	0	96	97

Таблица 4. Выживаемость эмбрионов сиговых рыб после окрашивания икры на стадии начала сокращения середечной трубки ализарином красным
Table 4. Survival rate of whitefish embryos after alizarin red staining of eggs at the stage of starting contraction of the heart tube

Показатель	Значение					
	Опыт				Контроль	
Концентрация ализарина красного, мг/л	5000	1000	400	200	0	0
Экспозиция, мин	15	15	1440	1440	15	1440
Вид	Выживаемость, %*					
Тугун	91	93	91	91	93	93
Нельма	87	85	86	90	92	91
Муксун	91	93	89	91	93	92
Чир	93	93	92	90	93	93
Озерная пелядь	93	93	90	90	93	93

* приведено среднее значение выживаемости по результатам двух повторностей

Таблица 5. Выживаемость сиговых рыб в течение 10 сут после мечения предличинок ализарином красным
Table 5. Survival rate of whitefish during 10 days after alizarin red staining of pre larvae

Показатель	Значение			
	Опыт		Контроль	
Концентрация ализарина красного, мг/л	200	120	0	0
Экспозиция, ч	4	6	4	6
Вид	Выживаемость, %*			
Нельма	99	99	98	97
Чир	99	98	98	98
Тугун	98	98	99	98
Озерная пелядь	97	99	99	99

* приведено среднее значение выживаемости по результатам двух повторностей

выживаемость личинок за 10 сут наблюдений после мечения находилась на уровне 97–99% и статистически не отличалась как в опытных, так и в контрольных аквариумах, вне зависимости от вида рыб.

Все предличинки в опытах и контроле перешли на личиночный этап развития через 1–1,5 сут после мечения.

Выживаемость при мечении личинок. Выживаемость личинок озерной пеляди сразу после окончания окрашивания не отличалась от контроля и составляла 100%. Выживаемость личинок в течение последующих 14 дней в контрольных группах составляла 94 и 93%, в опытных группах — 95 и 92%. Единичная гибель носила случайный характер.

Влияние мечения ализарином красным на рост личинок. Через полчаса после окончания окрашивания и смены воды в аквариумах с опытными и контрольными группами личинок начали их кормление. Личинки сразу начали питаться. Начальная масса личинок составляла 4,51 ± 0,11 мг при длине 10,5 ± 0,08 мм. На момент окончания наблюдений масса личинок в первой и второй контрольных группах составила 27,2 ± 0,9 и 28,0 ± 0,8 мг, в первой и второй опытных группах — 27,7 ± 1,2 и 28,6 ± 1,1 мг соответственно. Как в контроле, так и в опыте выборки двух повторностей за каждую дату измерений достоверных различий не имели и были объединены. Статистически достоверные различия объединенных выборок между массой личинок в контроле и опыте отсутствовали на протяжении всего периода наблюдений. В частности, на 14-е сутки выращивания при сравнении средних значений масс опытных и контрольных личинок коэффициент Стьюдента ($t_{факт}$) составлял всего 0,19 при t_{st} = 2,04 (при P = 0,95; n = 40; $t_{факт} < t_{st}$). Фактически рост меченых и контрольных личинок пеляди не отличался.

Регистрация меток при мечении эмбрионов на этапе бластуляции. На личиночный период развития перешли эмбрионы пеляди, окрашенные ализарином красным при концентрации 1000 и 5000 мг/л в течение 15 мин с использованием осмотического шока. У десяти исследованных личинок со средней массой 198 ± 88 мг и средней длиной 26,3 ± 2,6 мм, окрашенных ализарином при концентрации 1000 мг/л, метка на отолите отсутствовала. У десяти личинок со средней массой 258,1 ± 94,8 мг и средней длиной 28,5 ± 3,1 мм, окрашенных ализарином при концентрации 5000 мг/л, метка на отолите обнаруживалась. Метка была тусклой, едва различимой.

Регистрация меток при мечении эмбрионов на стадии начала сокращения сердечной трубки. При всех вариантах окрашивания на стадии начала сокращения сердечной трубки, флуоресцентная метка у просмотренных личинок и мальков исследованных видов была хорошо определяема. У личинок флуоресцентная метка видна через покровы тела (рис. 1А) при всех способах окрашивания. По мере роста личинок для регистрации метки на отолите требовалось препарирование и извлечение отолитов (рис. 1Б). Максимальная масса молоди озерной пеляди с регистрируемыми метками составляла 3,7 г при длине 6,8 см. В этом варианте окрашивание проводили на стадии начала сокращения сердечной трубки ализарином красным при концентрации 200 мг/л в течение 24 ч. В ядре сагиттального отолита молоди флуоресцентная метка была хорошо различима без его обработки (рис. 1В). Кроме того, метка была хорошо различима и на более мелком отолите (лапиллусе) того же экземпляра.

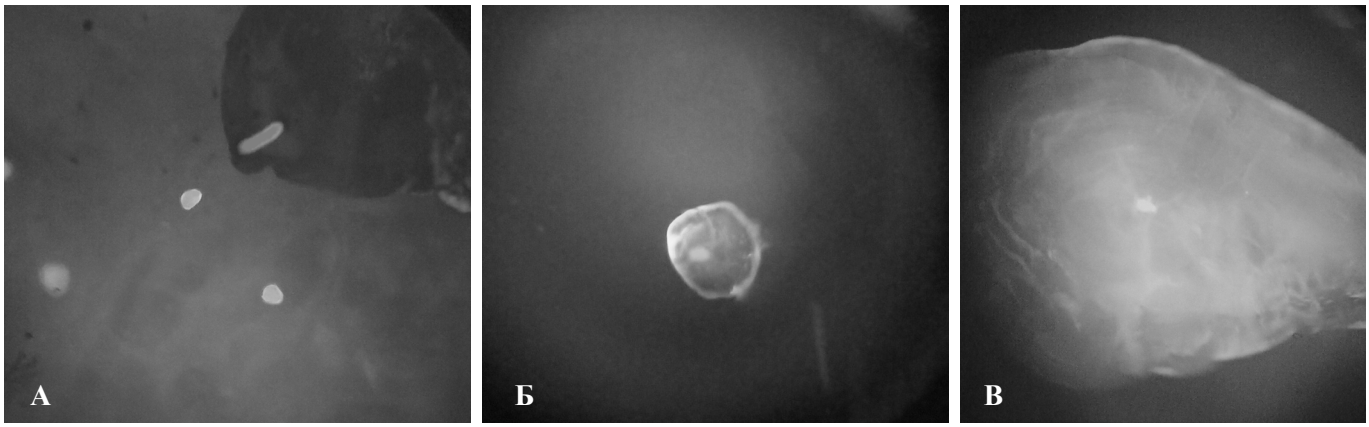

Рис. 1. Ализариновая метка на отолитах пеляди, окрашенных на стадии сокращения сердечной трубки. Метки обведены кругами. А — масса личинки 10 мг, окрашивание ализарином красным концентрацией 200 мг/л в течение 24 ч; Б — масса малька 569 мг, окрашивание ализарином красным концентрацией 5000 мг/л в течение 15 мин с использованием осмотического шока; В — масса молоди 3,7 г, окрашивание ализарином красным концентрацией 200 мг/л в течение 24 ч

Fig. 1. The alizarin mark on peled otoliths, made at the stage of the heart tube contraction. The marks are in the circles. A – larva of 10 mg, staining with alizarin red at the concentration of 200 mg/l for 24 hours; Б – fry of 569 mg, staining with alizarin red at the concentration of 5000 mg/l for 15 min using osmotic shock; B – juveniles of 3.7 g, staining with alizarin red at the concentration of 200 mg/l for 24 hours

Регистрация меток при мечении предличинок и однодневных личинок. При всех вариантах окрашивания предличинок и однодневных личинок, флуоресцентная метка у просмотренных личинок и молоди нельмы, чира, тугуна и пеляди была хорошо различима. Как и в опытах по окрашиванию на стадии начала сокращения сердечной трубки, у личинок метка видна без препарирования через покровы тела (рис. 2А). Отолиты у более крупных личинок и мальков необходимо извлекать для просмотра (рис. 2Б).

Контрольная группа. Как и следовало ожидать, в контрольной группе отолиты рыб флуоресцентную метку не имели (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Окрашивание эмбрионов сиговых рыб ализарином красным возможно только после пигментации глаз и начала сокращения сердечной трубки. Окрашивание в раннем эмбриогенезе, на этапе бластуляции, не эффективно и связано с высокой

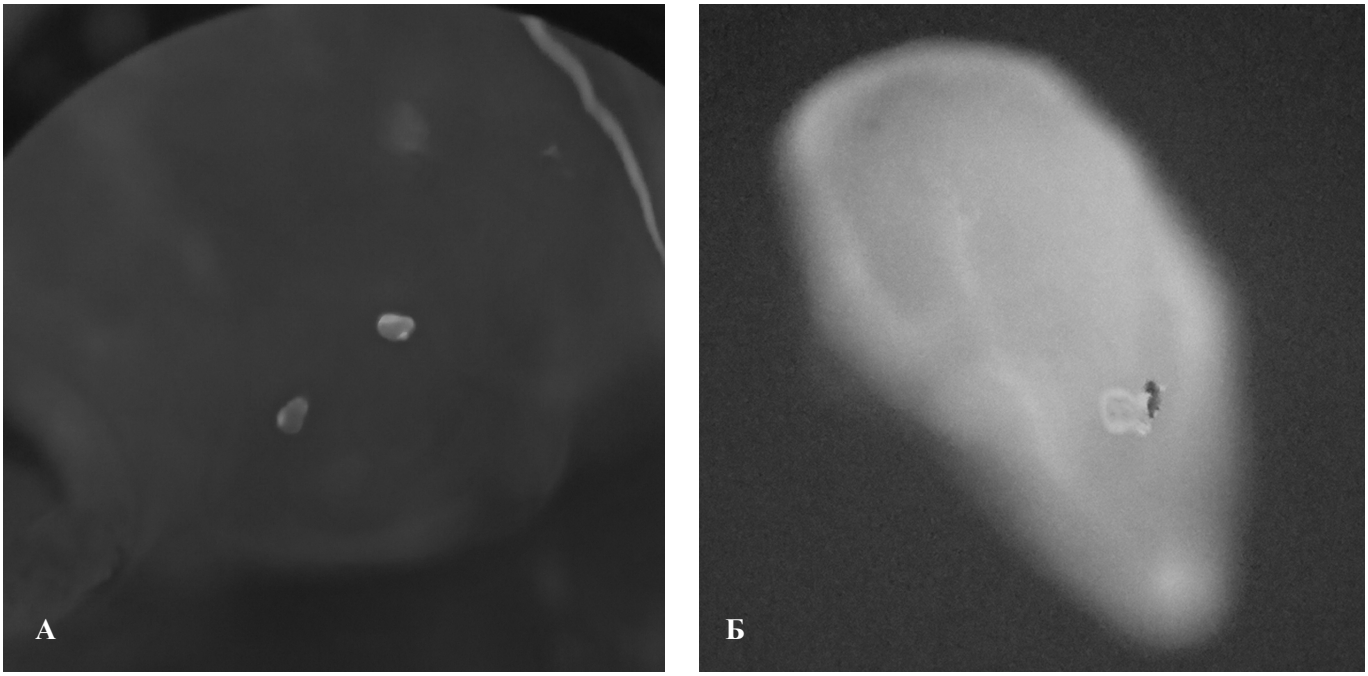

Рис. 2. Ализариновая метка на отолитах пеляди массой 11 мг (А) и 479 мг (Б), окрашенных ализарином красным при концентрации 120 мг/л в течение 6 ч на первом этапе личиночного развития
Fig. 2. The alizarin mark on the otoliths of peled with the body weight of 11 mg (A) and 479 mg (Б), made at the first stage of larval development with alizarin red at the concentration of 120 mg/l for 6 hours

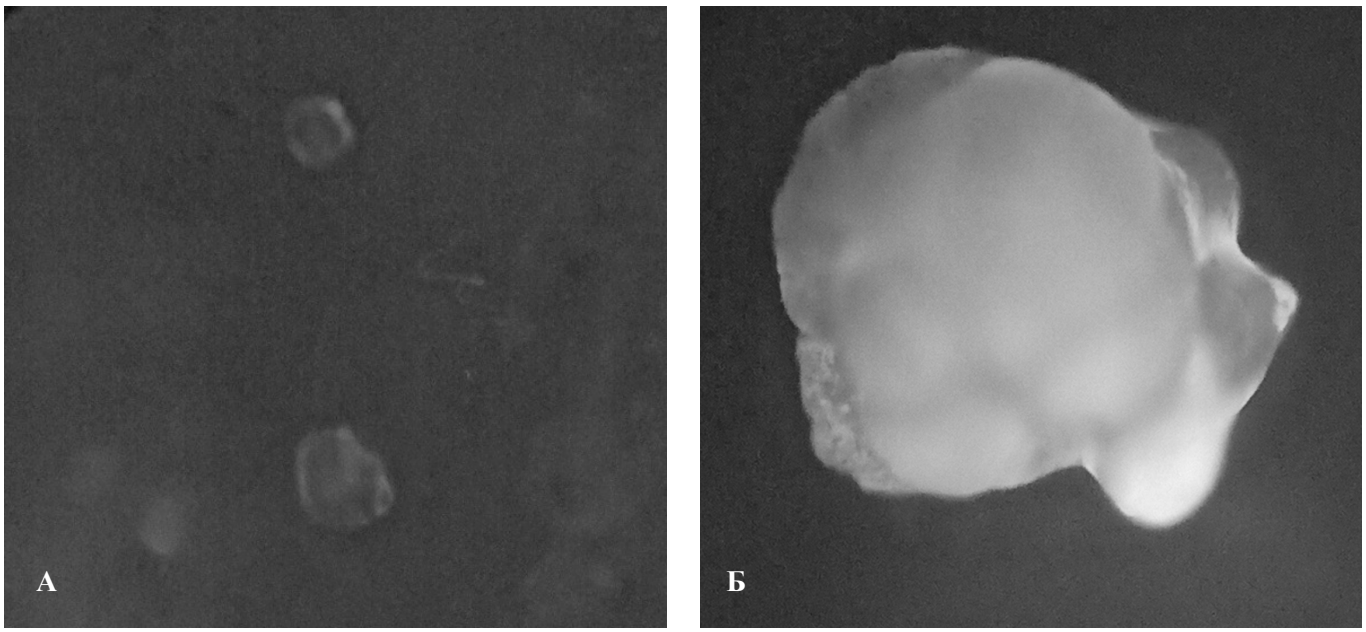

Рис. 3. Отолиты личинки массой 32,1 мг (А) и молоди массой 1,8 г (Б) озерной пеляди из контрольной группы
Fig. 3. The otoliths of the lake peled larva of 32.1 mg (A) and juveniles of 1.8 g (Б) in the control group

смертностью эмбрионов и слабой интенсивностью метки.

Используемая методика мечения ализарином красным предличинок и личинок не оказывает негативного влияния на их выживаемость и последующий рост.

Видовой специфики влияния мечения ализарином красным эмбрионов и личинок на выживаемость и регистрацию меток у исследованных видов сиговых не обнаружено.

При всех вариантах окрашивания ализарином красным зародышей, начиная со стадии начала сокращения сердечной трубки, предличинок и однодневных личинок, у личинок и молоди регистрируется хорошо различимая флуоресцентная метка.

Определение флуоресцентной метки у сиговых рыб массой до 4 г не требует шлифовки отолита. Для подтверждения возможности регистрации флуоресцентных меток на отолитах более крупных рыб необходимы дополнительные исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Акиничева Е.Г. 2006. Особенности сухого маркирования тихоокеанских лососей // Современные проблемы лососевых рыбоводных заводов Дальнего Востока / Матер. Междунар. науч.-практ. семинара (30 ноября – 1 декабря 2006 г., Петропавловск-Камчатский). С. 224–234.

Акиничева Е.Г., Рогатных А.Ю. 1996. Опыт мечения лососей на рыбоводных заводах посредством термического маркирования // Вопр. ихтиологии. Т. 36, № 5. С. 693–698.

Кугаевская Л.В., Сергиенко Л.Л. 1988. Определение вида развивающейся икры рыб рода *Coregonus* (Linnaeus) бассейна Нижней Оби // Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. Вып. 284. С. 52–63.

Сафроненков Б.П., Акиничева Е.Г., Рогатных А.Ю. 2000. Способ массового мечения рыб: патент РФ от 20.06.2000. № 2150827. 6 с.

Семенченко С.М. 2000. Способ стимуляции вылупления личинок сиговых рыб / Искусственное воспроизводство промысловых рыб во внутренних водоемах России. СПб.: ГосНИОРХ. С. 212–216.

Семенченко С.М., Смешливая Н.В. 2017. Инкубация икры сиговых рыб Coregonidae в лабораторных условиях // Вестник рыбохоз. науки. Тюмень: Госрыбцентр. Т. 4 (16). С. 4–13.

Baer J., Rosch R. 2008. Mass-marking of brown trout (*Salmo trutta* L.) larvae by alizarin: method and evaluation of stocking // Journal of Applied Ichthyology. 24. P. 44–49.

Beltran R.R., Champigneulle A., Vincent G. 1995. Mass-marking of bone tissue of *Coregonus lavaretus* L. and its potential application to monitoring the spatio-temporal distribution of larvae, fry and juveniles of lacustrine fishes // Hydrobiologia. № 300/301. P. 399–407.

Dabrowski K., Tsukamoto K. 1986. Tetracycline tagging in coregonid embryos and larvae // Journal of Fish Biology. № 29. P. 691–698.

Eckmann R. 2003. Alizarin marking of whitefish, *Coregonus lavaretus* otoliths during egg incubation // Fisheries Management and Ecology. 10. P. 233–239.

Eckmann R., Czerkies P., Helms C., Kleibs K. 1998. Evaluating the effectiveness of stocking vendace *Coregonus albula* (L.) eleutheroembryos by alizarin marking of otoliths // Advances in Limnology. № 50. P. 457–463.

Nagiec M., Dabrowski K., Nagiec C. & Murawska E. 1988. Mass marking of coregonid larvae and fry by tetracycline tagging of otoliths // Aquacul. Fish. Management. 19. P. 171–178.

Poczyczycski P., Koziowski K., Koziowski J., Martyniak A. 2011. Marking and return method for evaluating the effects of stocking larval vendace, *Coregonus albula* (L.), into Lake Wigry in 2000–2001 // Arch. Pol. Fish. № 19. P. 259–265.

Ruhle Ch., Winecki-Kfihn C. 1992. Tetracycline marking of coregonids at the time of egg fertilization // Aquatic Sciences. № 54/2. P. 165–175.

ISBN 978-5-902210-44-3

Сборник научных трудов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
II Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (4–6 апреля 2022 г., Петропавловск-Камчатский)

Главный редактор А.М. Токранов
Ответственный редактор Т.В. Борисова
Ответственный секретарь М.В. Варкентин
Перевод на английский А.А. Шурыгина
Корректор Т.В. Борисова

Фото на обложке: свободный источник в Интернет
Качество рисунков в статьях соответствует предоставленным авторами первоисточникам

Подписано к публикации 25.11.2022. Формат 60×84/8

Научное электронное издание сетевого распространения

Издатель:
Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии
683000 Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, 18
Тел./факс: 8 (4152) 41-27-01
E-mail: kamniro@vniro.ru
Сайт: kamniro.vniro.ru