

УДК 574.2

ИХТИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАРЕЛИИ

О. П. Стерлигова*, **Н. В. Ильмаст**

*Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»
(ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910),
o.sterligova@yandex.ru

Самым большим богатством Карелии являются водные экосистемы. Гидрографическая сеть региона насчитывает 21 тыс. рек, которые соединяют более 60 тыс. озер, образуя озерно-речные системы. В пределах республики находится около 50 % акватории Ладожского и 80 % Онежского озер, являющихся крупнейшими пресноводными водоемами Европы. Водные экосистемы осваиваются и широко используются в различных видах хозяйственной деятельности человека. За длительный период изучения водных экосистем в Карелии сформировалась научная школа ихтиологов и гидробиологов, которая широко известна как в России, так и за рубежом. В статье представлены основные направления и результаты более чем 70-летних исследований сотрудников лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии КарНЦ РАН. Анализ общих тенденций, происходящих в водных системах, позволил подойти к изучению закономерностей их функционирования на всех трофических уровнях (фито- и зоопланктон, зообентос и рыбная часть сообщества) в их естественном состоянии и под влиянием антропогенных факторов, а также к разработке методов экологического прогнозирования. Для определения будущего состояния водных экосистем региона совместно с математиками и физиками проводились работы по их моделированию при разных условиях. Для сохранения разнообразия обитателей водных экосистем региона сотрудники принимали участие в создании особо охраняемых природных территорий разного статуса. На протяжении 20 лет выполнялись комплексные исследования по ряду международных проектов и программ. Полученные результаты широко применяются учреждениями и организациями в Карелии и других регионах России, а также в Финляндии и Норвегии.

Ключевые слова: водная экосистема; инвентаризация; мониторинг; видовое разнообразие; трофические связи; рыбоводство; охрана; хозяйственное использование

Для цитирования: Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Ихтиологические и гидробиологические исследования в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 3. С. 113–124. doi: 10.17076/eco1777

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN -2022-0007).

O. P. Sterligova*, N. V. Ilmast. ICHTHYOLOGICAL AND HYDROBIOLOGICAL STUDIES IN KARELIA

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
(11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia), *o.sterligova@yandex.ru*

In this paper, the main trends of long-term (over 70 years) studies conducted by the Laboratory of Fish Ecology and Aquatic Invertebrates at the Institute of Biology of the Karelian Research Centre RAS are described and their results are reported. The Karelian science school in ichthyology and hydrobiology, well-known now in Russia and abroad, has formed in Karelia over the years of research on aquatic ecosystems. Aquatic ecosystems are Karelia's greatest asset. The region's hydrographic network, which consists of 21 000 rivers connecting over 60 000 lakes to form lake-river systems, is described. About 50 % of Lake Ladoga and about 80 % of Lake Onego, Europe's largest freshwater bodies, are situated in Karelia. Aquatic ecosystems are widely used in various types of human activities. General trends in Karelia's aquatic ecosystems have been analyzed to better understand their functioning at all trophic levels (phyto-zooplankton, zoobenthos, and the fish component of communities) in a natural and disturbed state and to develop methods for environmental forecasting. To predict the future state of the region's aquatic ecosystems, simulations were run under various conditions in collaboration with mathematicians and physicists. Seeking to maintain the biodiversity of the region's aquatic ecosystems, researchers from the Laboratory contributed to the designation of protected areas of various categories. Interdisciplinary studies within some international projects and programs have been carried out for 20 years. The results obtained are widely used by various institutions and organizations in Karelia and other regions of Russia, as well as in Finland and Norway.

Keywords: aquatic ecosystem; inventory; monitoring; species diversity; trophic relations; fish farming; protection; economic use

For citation: Sterligova O. P., Ilmast N. V. Ichthyological and hydrobiological studies in Karelia. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 3. P. 113–124. doi: 10.17076/eco1777

Funding. The studies were funded from the federal budget through state assignment to KarRC RAS (FMEN -2022-0007).

Введение

Гидрографическая сеть Карелии относится к бассейнам Белого и Балтийского морей, и ее специфика обусловлена особенностями комплекса природных условий (геологического строения, рельефа, климата), а также географическим положением региона. Основными структурными элементами сети являются озера, водохранилища (более 60 тысяч) и реки (21 тыс.). В пределах республики находится около 50 % акватории Ладожского и 80 % Онежского озер, являющихся крупнейшими пресноводными водоемами Европы. Озерно-речные системы осваиваются и широко используются при различных видах хозяйственной деятельности человека.

Список известных на сегодня круглоротых и рыб, обитающих во внутренних водоемах Республики Карелия, насчитывает 48 видов, принадлежащих к 2 классам, 12 отрядам, 16 семействам и 39 родам. Обилие водоемов в Карелии с обитанием огромного количества рыб всегда привлекало внимание ученых.

Самые ранние сведения об озерах и рыбах региона опубликованы академиком Н. Я. Озерецковским в книге «Путешествие по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильмена» [1912].

Комплексные исследования водных экосистем Карелии проводятся сотрудниками лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Карельского научного центра РАН с середины 1950-х годов, и за этот период постепенно сложилась карельская научная школа ихтиологии и гидробиологии.

Основные направления и результаты исследований

В 1953 г. согласно приказу № 87 от 29 апреля в Карело-Финском филиале Академии наук СССР в системе научных подразделений был создан Институт биологии, в состав которого вошел сектор зоологии с группами ихтиологии, наземных позвоночных и гидробиологии.

Организатором и руководителем ихтиологических и гидробиологических исследований

в Карелии с 1946 г. был известный ихтиолог профессор Иван Федорович Правдин (рис. 1). Целью своих исследований ученый ставил развитие рыболовства и эффективную организацию рыбного хозяйства. Большое научное и практическое значение имеют его работы в области внутривидовой систематики рыб и по составлению научно-промысловых карт и Атласа про-



Рис. 1. Иван Федорович Правдин
Fig. 1. Ivan Fyodorovich Pravdin

мысловых рыб СССР [1949]. Его монография «Сиги водоемов Карело-Финской ССР» удостоена премии Президиума АН СССР [Правдин, 1954].

В 1950–1960 гг. исследования развивались по следующим направлениям: инвентаризация фонда рыбохозяйственных водоемов и разработка мероприятий по их освоению; систематика и биология наиболее ценных промысловых видов рыб в ранее не изученных водоемах. Сотрудники лаборатории принимали участие в рекогносцированных исследованиях рыбных ресурсов озер Западной Карелии (Западно-Карельская комплексная экспедиция): Гимольское, Ройкнаволоцкое, Ньюозеро, Тикшозеро и Энгозеро (Правдин И. Ф., Герд С. В., Зыков П. В., Балагурова М. В., Потапова О. И., Титова В. Ф., Кожина Е. С., Кудерский Л. А.). В процессе работы были составлены научно-промысловые карты озер и биологический кадастр района Кировской железной дороги. Результаты всех этих исследований вошли в книгу «Озера Карелии» [1959], которая до сих пор не утратила своей актуальности.

В эти же годы в республике остро стояла проблема повышения рыбопродуктивности внутренних водоемов Карелии, и сотрудники лаборатории приступили к изучению состояния малых озер Сямозерской группы (Иматозеро, Павшойльское, Вагатозеро, Шотозеро, Миккельское, Крошнозеро), служащих местом нагула и нереста ценных видов рыб (рис. 2, 3).



Рис. 2. Комплексная экспедиция на Сямозере (1960 г.)
Fig. 2. Multidisciplinary expedition on Lake Syamozero (1960)



Рис. 3. Сбор ихтиологических проб на Сямозере (1982 г.)

Fig. 3. Ichthyological sampling on Lake Syamozero (1982)

Был составлен атлас с научным обоснованием организации Сямозерского рыбного хозяйства. Изученные водоемы этой группы вошли в сборник «Материалы совещания по повышению продуктивности малых внутренних водоемов КФССР» [1954] и в книгу «Озера Карелии» [1959].

В 1967 г. из сектора зоологии Института биологии была выведена группа ихтиологии и создана лаборатория ихтиологии, в 1980 г. переименованная в лабораторию экологии рыб и водных беспозвоночных. Первой заведующей лабораторией была известный ихтиолог к. б. н. О. И. Потапова (1967–1978 гг.) (рис. 4). После ее выхода на пенсию лабораторию возглавил к. б. н. Ю. А. Смирнов (1978–1985 гг.), которого позже сменила д. б. н. О. П. Стерлигова (1986–2013 гг.), а с ноября 2013 г. по настоящее время лабораторией руководит д. б. н. Н. В. Ильмаст.

Под руководством О. И. Потаповой в 1970-е годы проводились комплексные исследования на озерах Вендюрской группы (Вендюрское, Мунозеро, Риндозеро, Вохтозеро, Мярндукса). Составлена их общая рыбохозяйственная характеристика, изучена кормовая база рыб и впервые была выявлена крупная форма ряпушки. Изучив ее биологию, ученые (Потапова О. И., Кожина Е. С., Бушман Л. Г., Стерлигова О. П., Первозванская Н. П., Едом-

ская Л. В.) предложили использовать эту форму ряпушки для интродукции как в водоемы Карелии, так и в другие озера России. Результаты этой работы опубликованы в многочисленных статьях и монографии О. И. Потаповой «Крупная ряпушка озер Карелии» [1978].



Рис. 4. Ольга Ивановна Потапова

Fig. 4. Olga Ivanovna Potapova

В связи с освоением Костомукшского железорудного месторождения в 1980-е годы сотрудники лаборатории занимались изучением рыбного населения крупных озер этого района: Каменное, Лувозеро, Кимасозеро и Нюкозеро (Потапова О. И., Первозванский В. Я., Смирнов Ю. А., Первозванская Н. П.). Результаты опубликованы в книгах «Природные ресурсы Карелии и пути их рационального использования» [1973], «Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охраны» [1977] и в монографии В. Я. Первозванского «Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения» [1986].

В связи со строительством в этом районе города Костомукши важное значение приобрело решение проблем водоснабжения, рыбохозяйственного и рекреационного использования водоемов. Научные работы на озерах были продолжены в 2000-х годах, при функционировании горно-обогатительного комбината (ОАО «Карельский окатыш»), в том числе на водоемах, уже подверженных влиянию сбрасываемых техногенных вод комбината. С привлечением ихтиологических, паразитологических, биохимических и гистологических методов исследования дана оценка особенностей адаптационных механизмов и зависимости от уровня организации в ряду: организм – популяция – биоценоз. Это положило начало работе по выявлению общих закономерностей адаптационных и патологических процессов, развивающихся у гидробионтов при разной степени антропогенного загрязнения (Первозванский В. Я., Ильмаст Н. В., Кучко Я. А., Иешко Е. П., Немова Н. Н. и др.). Анализ общих тенденций в озерах позволил подойти к разработке методов экологического прогнозирования. Результаты исследований вошли в коллективную монографию «Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия» [2012].

Большое внимание в республике всегда уделялось исследованию модельного водоема – оз. Сямозеро. Первые данные о его рыбном населении приведены в работе А. Ф. Смирнова [1939]. Более детально изучение экосистемы озера началось с 1950-х годов, в связи с его важной рыбохозяйственной ролью для республики. В процессе комплексных исследований получены данные по гидрологическому, гидрохимическому режиму, сезонной динамике и жизненным циклам основных видов беспозвоночных, биологии промысловых видов рыб и их паразитофауне (Смирнов А. Ф., Балагурова М. В., Потапова О. И., Соколова В. А., Филимонова З. И., Титова В. Ф., Малахова Р. П., Шульман С. С.). Впервые для условий севера была

изучена биология молоди рыб, определена роль межвидовых взаимоотношений в продуктивности рыбных стад (Кожина Е. С.). В озере описаны основные закономерности биологических процессов, определена возможная рыбопродуктивность и намечены пути рационального использования рыбных ресурсов. Результаты научных работ опубликованы в сборниках «Труды Сямозерской комплексной экспедиции» [1959, 1962] и в монографии М. В. Балагуровой «Биологические основы организации рационального рыбного хозяйства» [1963]. Полученные данные использовались при составлении Генеральной схемы развития рыбного хозяйства и проекта первого рыбхоза республики.

Начиная с 1980-х годов исследования на Сямозере проводятся совместно со специалистами других научных учреждений: Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Института генетики РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва), Зоологического института РАН (СПб), Института охотничьего и рыбного хозяйства Финляндии (Хельсинки), Института биологии внутренних вод (п. Борок), Псковского педагогического университета, Института водных проблем Севера КарНЦ РАН и с коллегами из лабораторий паразитологии животных и растений и экологической биохимии Института биологии.

В процессе комплексных исследований экосистемы озера выявлены существенные изменения в его гидрологическом, гидрохимическом и биологическом режиме, которые связаны с усилением хозяйственной деятельности человека. Это и увеличение на водосборе сельскохозяйственных и мелиоративных работ, рекреация (строительство баз отдыха, дач и др.), а также непредвиденное появление чужеродного для озера вида – корюшки (1968 г.). Многолетние исследования позволили пронаблюдать и описать процесс становления ее популяции, определить ее роль в экосистеме озера [Стерлигова, Ильмаст, 2009, 2012]. Анализ результатов исследований показал, что корюшка внесла значительные изменения как в рыбную часть сообщества, так и в целом в экосистему водоема. Случайный «занос» в Сямозеро корюшки причинил существенный ущерб ценным аборигенным видам рыб (ряпушка, сиг), снизив их численность через выедание молоди этих видов рыб в периоды выклева и нагула [Стерлигова и др., 2016]. Подтверждается мнение ученых, что, вступая в контакты с аборигенными видами, вселенцы значительно преобразовывают структуру биоценозов и их появление имеет экологические и экономические последствия.

Вселение нового вида привело к ускорению сукцессионных процессов в структуре экосистемы озера, начиная от первого звена трофической цепи и заканчивая рыбами. Анализ полученных результатов (Бушман Л. Г., Павловский С. А., Кучко Я. А.) позволил установить, что по гидрохимическим и гидробиологическим показателям Сямозеро ранее принадлежало к олиготрофному типу, в настоящее время относится к мезотрофному, а некоторые заливы близки к эвтрофным.

На основе мониторинговых наблюдений в эти годы получены данные по динамике рыбного населения, рассчитаны популяционные параметры основных промысловых видов рыб. Для количественной характеристики перестроек рыбного сообщества впервые для Сямозера использован метод структурного фазового портрета. Это позволило оценить состояние рыбной части сообщества, его динамику и проанализировать структурные перестройки в рыбном населении. Выделены периоды, связанные с усилением антропогенного воздействия и промысла на водоем и разбалансировкой экосистемы [Терещенко и др., 2004]. Моделирование разнообразных типов промысловых нагрузок на каждый отдельный вид позволило определить значения оптимальной доли изъятия запаса рыб (Криксунов Е. А., Медвинский А. Б., Павлов В. Н., Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В.). Многие отмеченные в Сямозере закономерности использованы при разработке методов экологического прогнозирования на других водоемах. Подробная характеристика экосистемы озера при значительном антропогенном воздействии разных факторов приведена в сборнике «Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования» [1977], в монографиях «Многотычинковый сиг Сямозера» [Титова, 1973], «Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема» [1982], «Экосистема Сямозера (биологический режим и использование)» [2002], «Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии» [Стерлигова и др., 2016] и в многочисленных статьях.

На протяжении более 30 лет С. П. Китаев с сотрудниками разрабатывал и совершенствовал метод биомониторинга пресноводных экосистем в связи с антропогенным влиянием. Станислав Петрович обобщил результаты исследований экологических основ биопродуктивности озер, привел их лимнологическую характеристику в разных природных зонах и создал банк данных по озерам северо-западной части России. Результаты работ опубликованы в его монографиях «Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон» [1984],

«Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов» [2007] и в многочисленных статьях.

Начиная с 1970 г. к исследованиям озерных экосистем добавилось новое направление научных работ по изучению состояния рек Карелии под руководством Ю. А. Смирнова. Сотрудники лаборатории совместно с паразитологами, биохимиками, учеными ПИНРО (Мурманск) и финскими коллегами из Института охотничьего и рыбного хозяйства (Хельсинки) изучали состояние средних и малых лососевых рек Онежского озера (рис. 5). На основе комплексных исследований дана оценка условий формирования кормовой базы рек – зоопланктон, бентос, дрейф и водная растительность (Круглова А. Н., Хренников В. В., Комулайнен С. Ф., Широков В. А.). Изучена биология ценных видов лососевых рыб и определены популяции, пригодные для рыбоводства и озерного хозяйства (Шустов Ю. А., Сидоров В. С., Щуров И. Л., Иешко Е. П.). По результатам полученных данных разработаны общие принципы лососевого хозяйства и возможные варианты сочетания естественного и искусственного воспроизводства атлантического лосося. Даны практические рекомендации по использованию лососевых рек как нерестово-выростных угодий. Результаты исследований опубликованы в коллективной монографии «Лососевые нерестовые реки Онежского озера» [1978] и в монографиях Ю. А. Смирнова «Лосось Онежского озера» [1971], «Пресноводный лосось» [1979], Ю. А. Шустова «Экология молоди атлантического лосося» [1983], «Экологические аспекты поведения молоди лососевых рыб в речных условиях» [1995].

В эти же годы большое внимание было уделено исследованиям морфологии, кариологии и генетико-селекционным аспектам атлантического лосося. Проанализированы маркеры митохондриальной и ядерной ДНК 98 популяций атлантического лосося из рек Карелии, Кольского полуострова и Финляндии. Определено, что популяция Онежского озера берет начало от фауны ледниковых озер. Их генетическая идентичность с популяциями южной части Балтийского моря подтверждает гипотезу первичной колонизации Балтийского моря с востока (Зелинский Ю. П., Махров А. А.). Результаты вошли в монографию Ю. П. Зелинского «Структура и дифференциация популяций и форм атлантического лосося» [1985].

Начиная с 2000 г. под руководством А. Е. Веселова осуществлялись работы по инвентаризации нерестовых рек и лососевых популяций Восточной Фенноскандии. Установлено, что в настоящее время атлантический лосось вос-



Рис. 5. Совместные с финскими коллегами исследования рек бассейна Онежского озера (полевой стационар «Речной», д. Лижма, 1986 г.)

Fig. 5. Surveys of rivers in Lake Onego catchment (Rechnoy Field Research Station, Lizhma Village, 1986) done jointly with Finnish colleagues

производится в 137 реках, а кумжа – в 275. В Росреестре зарегистрирована база данных по лососевым нерестовым рекам. Дана оценка состояния запасов рыб в реках северо-запада Европы. Установлены причинно-следственные связи локомоторных и ориентационных компонентов реореакции с формированием сложных форм поведения и закономерностей плотностей распределения, проявляющихся в онтогенезе реофильных видов рыб (Шустов Ю. А., Бахмет И. Н., Зубченко А. В., Алексеев М. Ю.). Разработана концепция формирования микростадий и кочевого поведения лососевых видов рыб. Установлены закономерности сезонной и суточной миграции смолтов в реках и влияющие на этот процесс физические, климатические и гидрологические факторы. Дана оценка численности, биомассы и плотности распределения рыб на порогах и перекатах рек. Результаты исследований опубликованы в монографии «Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося» [Веселов, Калюжин, 2001].

Обобщены результаты многолетних исследований гидробиологических показателей водотоков исследуемых рек, относящихся к бассейнам Балтийского, Белого и Баренцева мо-

рей. Определено влияние абиотических (свет, температура, течение, субстрат), биологических (выедание беспозвоночными) факторов и химических условий на пространственную и временную динамику перифитона и зоопланктона в реках (Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н.). Установлено влияние природных и антропогенных факторов на таксономический состав, обилие и трофическую структуру сообществ донных беспозвоночных (Барышев И. А.). Показано, что северное расположение, порожистый характер русла и наличие множества проточных озер в реках исследуемого региона обуславливают особую структуру макрозообентоса, для которого характерно преобладание литореофильной фауны. Установлено, что значительное влияние на бентос оказывает низкая минерализация и олиготрофный характер речных вод региона. Результаты опубликованы в монографиях «Экология фитоперифитона малых рек Восточной Финноскандии» [Комулайнен, 2004] и «Макрозообентос рек Восточной Финноскандии» [Барышев, 2023].

Впервые в соавторстве с коллегами из ИПЭЭ РАН в 2010 г. была разработана полноцикловая и короткоцикловая инновационная

технология восстановления популяций лососевых рыб (европейских и дальневосточных) с использованием искусственных гнезд – инкубаторов икры. Технология применяется в реках с утраченными естественными популяциями и с низкой численностью производителей лососевых видов рыб (Веселов А. Е., Калюжин С. М., Скоробогатов М. С., Ефремов Д. А., Ручьев М. А). В результате сформулирован новый методологический подход к восстановлению и рекультивации нарушенных нерестово-выростных участков лососевых рек. В настоящее время эти работы продолжают ученики А. Е. Веселова (Ефремов Д. А., Распутина Е. Н., Ручьев М. П.).

В конце 1990-х – начале 2000-х годов большое значение приобрели исследования особо охраняемых природных территорий, которые выполнялись по проектам Президиума РАН, Отделения биологических наук РАН, по договорам с различными организациями Карелии и Министерством окружающей среды Финляндии. В рамках этих проектов сотрудники лаборатории обследовали многие приграничные озера (оз. Тулос, Толвоярвскую группу озер, Паанаярви, Верхний и Нижний Нерис и др.). Водоёмы значительно отличаются по своим гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим параметрам, включая рыб. В составе рыбного населения озер отмечено обитание разных экологических форм сига. Изучены их линейно-весовой рост, питание, плодовитость, условия нереста (Первозванский В. Я., Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Павловский С. А., Комулайнен С. Ф., Едомская Л. В.). Полученные данные по рыбному сообществу этих водоёмов можно использовать как эталонные для оценки состояния водных экосистем. Результаты исследований вошли в научные обоснования по созданию особо охраняемых природных территорий, и в дальнейшем были учреждены национальные парки «Паанаярви» и «Калевальский», региональный заказник «Толвоярви» [Ильмаст, Стерлигова, 2014].

В связи с освоением Арктики и Субарктики особую актуальность приобретают исследования экофизиологических и биохимических особенностей адаптаций двустворчатых моллюсков к природным и антропогенным факторам воздействия. Изучение особенностей адаптаций проводили на трех разных видах двустворчатых моллюсков Белого моря. Мониторинг сердечной ритмики двустворчатых моллюсков в течение года позволил обнаружить достоверную степенную зависимость от температуры частоты их сердечных сокращений. При этом в течение года были найдены временные

отрезки, когда зависимость исчезала в связи с влиянием других факторов. Впервые обнаружена связь флуктуаций сердечной ритмики и мощности сигнала с отливно-приливным ритмом и показана отрицательная корреляция между сердечным ритмом и размерами мидий. Разработана методика регистрации плетизмограмм у моллюсков в полевых условиях [Bakhmet et al., 2019]. Выявлены особенности изменения относительного уровня метаболизма мидий и модиолусов при воздействии таких поллютантов, как нефтепродукты (легкая и тяжелая фракции) и тяжелые металлы (Бахмет И. Н., сотрудники лаборатории биохимии ИБ КарНЦ РАН и биологической станции ЗИН РАН «Картеш»). В настоящее время проводятся совместные эксперименты по оценке физиологического состояния моллюсков (как мидий, так и улиток), зараженных различными видами паразитов.

В Карелии в связи с низкой продуктивностью озер (1,0–3,0 кг/га), существенным сокращением запасов и уловов ценных промысловых видов рыб исследования сотрудников были направлены на разработку биотехники культивирования различных организмов. Установлено, что самым перспективным и экономически выгодным направлением в республике является садковое рыбоводство в естественных водоёмах, главным образом выращивание радужной форели (Смирнов Ю. А., Шустов Ю. А., Китаев С. П., Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В.). Успешному развитию данного направления способствуют благоприятные климатические условия региона (длительный световой период во время вегетации, оптимальная температура, большие запасы чистой воды и др.), наличие транспортных сетей и квалифицированных кадров.

В настоящее время производством рыбы занимается около 70 фермерских хозяйств, на которых в 2022 г. выращено 36,6 тыс. т товарной форели, и в России по ее производству Карелия является лидером (до 80 %). Бурное развитие форелеводства в республике, особенно за последние семь лет, оказывает значительное влияние на систему биотических сообществ озерных экосистем и приводит к их перестройке. С 2000 г. сотрудники лаборатории провели комплексные исследования состояния водных экосистем с товарным выращиванием форели на 20 из 70 действующих рыбоводных комплексов (рис. 6). Установлено, что основными источниками загрязнения при производстве форели в садках являются: корм, продукты метаболизма, и как показали результаты гидрохимических анализов последних лет, лимитирующими фак-



Рис. 6. Полевой отряд по изучению состояния водоемов с выращиванием радужной форели
Fig. 6. Field team for studying the state of waterbodies with rainbow trout farming

торами служат биогены (азот и фосфор), что приводит к усилению процессов эвтрофирования водных экосистем. Определено, что дополнительное поступление биогенных элементов в водоемы влечет за собой снижение прозрачности воды, ухудшение кислородного режима, «цветение» воды, возникают новые ассоциации перифитона, происходит усиленное образование детрита и заиление грунтов (Комулайн С. Ф.). Выявлено, что изменение условий существования беспозвоночных (зоопланктон и бентос) отражается на их видовом составе, соотношении таксономических групп, структуре популяций и количественных показателях (Павловский С. А., Кучко Я. А., Савосин Е. С., Первозванская Н. П.). В составе рыбного населения наблюдается значительное сокращение численности ценных видов рыб (лосось, паляя, сиг, ряпушка), чувствительных к содержанию кислорода и биогенов в воде (Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С., Милянчук Н. П.). В некоторых озерах происходит постепенное изменение их трофического статуса. Предложено проведение на всех форелевых комплексах экологической экспертизы по основным показателям состояния водных экосистем (общий и аммонийный азот, минеральный фос-

фор, кислород, перманганатная окисляемость, рН, фитопланктон, зоопланктон, бентос, рыбы) и корректировки объемов производства как минимум один раз в 3–5 лет. Для уменьшения биогенной нагрузки на пресные водоемы необходимо применять новые современные технологии выращивания рыбы. Основная задача этих исследований заключается в сохранении чистых пресноводных вод региона для всех видов водопользователей. Материалы исследований опубликованы в монографии «Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках» [Стерлигова и др., 2018] и в многочисленных российских и зарубежных изданиях.

Заключение

За 70-летний период исследований сотрудники лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии КарНЦ РАН перешли от инвентаризации озерного и речного фонда Карелии, разработок мероприятий по их использованию для организации рыбного хозяйства в республике к изучению закономерностей функционирования водных экосистем на всех трофических уровнях в их

естественном состоянии и под влиянием антропогенных факторов. В рамках проведенных работ с использованием современных методов и участием разных специалистов (паразитологов, биохимиков, генетиков и ихтиологов) разработаны принципы регионального мониторинга биоразнообразия и биологических ресурсов, предложены практические рекомендации по их сохранению. Для определения будущего состояния озер и рек совместно с математиками и физиками сотрудники лаборатории применили метод математического моделирования.

В лаборатории создано 8 баз данных и получено 12 патентов на изобретения по нескольким направлениям. Результаты исследований применяются учреждениями и организациями в Карелии, в разных регионах России, а также в Финляндии, Швеции, Норвегии при прогнозировании возможных изменений водных экосистем при различных видах антропогенного воздействия; учитываются при составлении региональных программ по рациональному использованию рыбных запасов внутренних водоемов республики; для оценки рыбопродуктивности озер и оптимизации режимов промысла; в рыбоводстве при выращивании радужной форели в садках. Материалы исследований применяются при подготовке предложений по организации особо охраняемых природных территорий Карелии.

Научные исследования, проводимые сотрудниками лаборатории, постоянно получают финансовую поддержку Российских научных фондов (РФФИ и РГНФ), федеральных программ ФЦНТП и ФЦП, ведомственных программ фундаментальных исследований Президиума РАН, Отделения биологических наук РАН и региональных программ Министерства сельского, рыбного и охотничьего хозяйства РК, Министерства экономического развития и Ассоциации форелеводов РК.

В настоящее время в лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных работают 13 сотрудников – четыре доктора и шесть кандидатов биологических наук, один младший научный сотрудник и два ведущих биолога. Все являются высококлассными специалистами разных направлений, изучают динамику сообществ беспозвоночных, экологию и систематику лососевых, сиговых и корюшковых рыб, популяционную динамику пресноводных видов рыб, проблемы формирования и функционирования озерных и речных систем, оценивают антропогенное влияние на водные экосистемы и разрабатывают охранные мероприятия.

Литература

- Балагурова М. В.* Биологические основы организации рационального рыбного хозяйства на сямозерской группе озер Карелии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 88 с.
- Барышев И. А.* Макрозообентос рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. 334 с.
- Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охрана / Отв. ред. И. М. Нестеренко.* Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. 191 с.
- Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия / Ред. Н. Н. Немовой и др.* Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 230 с.
- Веселов А. Е., Калюжин С. М.* Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 2001. 160 с.
- Зелинский Ю. П.* Структура и дифференциация популяций и форм атлантического лосося. М.: Наука, 1985. 203 с.
- Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема / Ред. Ю. С. Решетников.* М.: Наука, 1982. 248 с.
- Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П.* Рыбы // Зеленый пояс Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. С. 92–96.
- Китаев С. П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 320 с.
- Китаев С. П.* Экологические основы биопроductивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.
- Комулайнен С. Ф.* Экология фитоперифитона малых рек Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 182 с.
- Лососевые нерестовые реки Онежского озера / Отв. ред. Ю. А. Смирнов.* Л.: Наука, 1978. 102 с.
- Материалы Совещания по проблеме повышения рыбной продуктивности внутренних водоемов Карело-Финской ССР, созванного Карело-Финским филиалом Академии наук СССР и Карело-Финским отделением ВНИОРХ 11-13 марта 1953 г. / Отв. ред. проф. Ю. И. Полянский.* Петрозаводск: Госиздат КФССР, 1954. 196 с.
- Озера Карелии: природа, рыбы и рыбное хозяйство (справочник) / Редкол. Б. М. Александров и др.* Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1959. 619 с.
- Озерецковский Н. Я.* Путешествие по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильмена. СПб., 1812. 559 с.
- Первозванский В. Я.* Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения. Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
- Потапова О. И.* Крупная ряпушка озер Карелии. СПб.: Наука, 1978. 133 с.
- Правдин И. Ф.* Сиги водоемов Карело-Финской ССР. М.: Наука, 1954. 324 с.
- Природные ресурсы Карелии и пути их рационального использования / Редкол. Ю. А. Смирнов и др.* Петрозаводск: Карелия, 1973. 142 с.
- Промысловые рыбы СССР. Атлас / ВНИРО; ред. А. С. Берг и др.* М.: Пищепромиздат, 1949. 788 с.

Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды / Редкол. А. Н. Громцев и др. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2003. 262 с.

Смирнов А. Ф. Рыболовство на Сямозере // Тр. Карел. пед. ин-та. 1939. Т. 1. С. 127–168.

Смирнов Ю. А. Лосось Онежского озера. Л.: Наука, 1971. 143 с.

Смирнов Ю. А. Пресноводный лосось (экология, воспроизводство, использование). Л.: Наука, 1979. 156 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Виды-вселенцы в водных экосистемах Карелии // Вопр. ихтиологии. 2009. Т. 49, № 3. С. 372–379.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Кучко Я. А., Комулайнен С. Ф., Савосин Е. С., Барышев И. А. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 128 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Состояние популяций корюшки *Osmerus eperlanus* Сямозера и Выгозера, сформировавшихся в результате саморасселения // Вопр. ихтиологии. 2012. Т. 52, № 2. С. 1–17.

Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмаст Н. В. и др. Экосистема Сямозера (биологический режим и использование). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2002. 120 с.

Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования / Науч. ред. О. И. Потапова, В. А. Соколова. Петрозаводск: Карелия, 1977. 266 с.

Терещенко В. Г., Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Многолетняя динамика структурных и системных характеристик рыбного населения эвтрофируемого Сямозера // Биология внутренних вод. 2004. № 3. С. 93–102.

Титова В. Ф. Многотычинковый сиг Сямозера. Петрозаводск: Карелия, 1973. 97 с.

Труды Сямозерской комплексной экспедиции / Отв. ред. С. В. Григорьев. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1959. Т. 1. 238 с.; 1962. Т. 2. 270 с.

Шустов Ю. А. Экологические аспекты поведения молоди лососевых рыб в речных условиях. СПб.: Наука, 1995. 161 с.

Шустов Ю. А. Экология молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 1983. 152 с.

Bakhmet I. N., Sazhin A., Maximovich N., Ekimov D. In situ long-term monitoring of cardiac activity of two bivalve species from the White Sea, the blue mussel *Mytilus kjedulis* and horse mussel *Modiolus modiolus* // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2019. Vol. 99. P. 833–840. doi: 10.1017/S0025315418000681

References

Aleksandrov B. M. et al. (eds.). Lakes of Karelia: Nature, fish and fisheries (a reference book). Petrozavodsk: Gosizdat KASSR; 1959. 619 p. (In Russ.).

Bakhmet I. N., Sazhin A., Maximovich N., Ekimov D. In situ long-term monitoring of cardiac activity of two

bivalve species from the White Sea, the blue mussel *Mytilus kjedulis* and horse mussel *Modiolus modiolus*. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2019;99:833–840. doi: 10.1017/S0025315418000681

Balagurova M. V. Biological principles of organization of fishery in Saymozero group of lakes in Karelia. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1963. 88 p. (In Russ.).

Baryshev I. A. Macrozoobenthos of rivers of Eastern Fennoscandia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2023. 334 p. (In Russ.).

Berg A. S. et al. (eds.). Atlas of commercial fish of the USSR. Moscow: Pishchepromizdat; 1949. 788 p. (In Russ.).

Grigor'ev S. V. (ed.). Proceedings of the Lake Saymozero complex expedition. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1959. Vol. 1. 238 p.; 1962. Vol. 2. 270 p. (In Russ.).

Gromtsev A. N. et al. (eds.). Biotic diversity of Karelia: Conditions of formation, communities and species. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2003. 262 p. (In Russ.).

Il'mast N. V., Sterligova O. P. Fish. *Zelenyi poyas Fennoskandii = Green Belt of Fennoscandia*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2014. P. 92–96. (In Russ.).

Kitaev S. P. Ecological bases of bioproductivity of lakes in different natural zones. Moscow: Nauka; 1984. 207 p. (In Russ.).

Kitaev S. P. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2007. 320 p. (In Russ.).

Komulainen S. F. Ecology of phytoplankton in small rivers of Eastern Fennoscandia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2004. 182 p. (In Russ.).

Nemova N. N. et al. (eds.). Biota of northern lakes under man-induced impact. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2012. 230 p. (In Russ.).

Nesterenko I. M. (ed.). Biological resources of the Kostomuksha region, ways of their development and protection. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1977. 191 p. (In Russ.).

Ozeretskovskii N. Ya. A journey on Lakes Ladoga and Onega and around Lake Ilmen. St. Petersburg; 1812. 559 p. (In Russ.).

Pervozvanskii V. Ya. Fish from the water bodies in the area of the Kostomuksha iron ore deposit. Petrozavodsk: Kareliya; 1986. 216 p. (In Russ.).

Polyanskii Yu. I. (ed.). Materials of the Meeting on increasing the productivity of small inland water bodies of the KFSSR. Materials of the Meeting on the problem of increasing the fish productivity of inland water bodies of the Karelian-Finnish SSR, organized by the Karelian-Finnish Branch of the USSR Academy of Sciences and the Karelian-Finnish Branch of the All-Union Research Institute of Fishing Industry, March 11–13, 1953. Petrozavodsk: Gosizdat KFSSR; 1954. 196 p. (In Russ.).

Potapova O. I. Large vendace in lakes of Karelia. St. Petersburg: Nauka; 1978. 133 p. (In Russ.).

Potapova O. I., Sokolova V. A. (eds.). Lake Syamozero and prospects of commercial fishing. Petrozavodsk: Kareliya; 1977. 266 p. (In Russ.).

Pravdin I. F. Whitefish in water bodies of the Karelian-Finnish SSR. Moscow: Nauka; 1954. 324 p. (In Russ.).

Reshetnikov Yu. S. (ed.). Changes in the structure of the fish population of an eutrophicated water body. Moscow: Nauka; 1982. 248 p. (In Russ.).

Shustov Yu. A. Ecology of Atlantic salmon fry. Petrozavodsk: Kareliya; 1983. 152 p. (In Russ.).

Shustov Yu. A. Ecological aspects of juvenile salmon fish behavior in river conditions. St. Petersburg: Nauka; 1995. 161 p. (In Russ.).

Smirnov A. F. Fishing on Lake Syamozero. *Tr. Karel. ped. in-ta = Proceedings of the Karelian Pedagogical Institute*. 1939;1:127–168. (In Russ.).

Smirnov Yu. A. (ed.). Salmon spawning rivers of Lake Onega. Leningrad: Nauka; 1978. 102 p. (In Russ.).

Smirnov Yu. A. et al. (eds.). Natural resources of Karelia and ways of their rational use. Petrozavodsk: Kareliya; 1973. 142 p. (In Russ.).

Smirnov Yu. A. Salmon of Lake Onega. Leningrad: Nauka; 1971. 143 p. (In Russ.).

Smirnov Yu. A. Freshwater salmon (ecology, reproduction, and use). Leningrad: Nauka; 1979. 156 p. (In Russ.).

Sterligova O. P., Il'mast N. V., Kuchko Ya. A., Komulainen S. F., Savosin E. S., Baryshev I. A. State of freshwater reservoirs in Karelia with commercial rearing of rainbow trout in cages. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2018. 128 p. (In Russ.).

Sterligova O. P., Il'mast N. V., Savosin D. S. Cyclostomes and fishes of fresh waters of Karelia. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2016. 224 p. (In Russ.).

Sterligova O. P., Il'mast N. V. Species-colonizers in the water systems of Karelia. *J. Ichthyol.* 2009; 49(4):331–338. doi: 10.1134/S0032945209040055

Sterligova O. P., Il'mast N. V. State of populations of smelt *Osmerus eperlanus* from Vygozero and Syamozero that formed as a result of self-dispersion. *J. Ichthyol.* 2012;52(4):261–267. doi: 10.1134/S0032945212020142

Sterligova O. P., Pavlov V. N., Il'mast N. V. et al. Lake Syamozero ecosystem (biological regime and use). Petrozavodsk: KarRC RAS; 2002. 120 p. (In Russ.).

Tereshchenko V. G., Sterligova O. P., Il'mast N. V. Long-term dynamics of structural and systemic characteristics of the fish population of eutrophicated Lake Syamozero. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2004;3:93–102. (In Russ.).

Titova V. F. Densely-rakered whitefish of Lake Syamozero. Petrozavodsk: Kareliya; 1973. 97 p. (In Russ.).

Veselov A. E., Kalyuzhin S. M. Ecology, behavior and distribution of Atlantic salmon fry. Petrozavodsk: Kareliya; 2001. 160 p. (In Russ.).

Zelinskii Yu. P. Structure and differentiation of populations and forms of Atlantic salmon. Moscow: Nauka; 1985. 203 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию / received: 05.05.2023; принята к публикации / accepted: 12.05.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Стерлигова Ольга Павловна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных

e-mail: o.sterligova@yandex.ru

Ильмаст Николай Викторович

д-р биол. наук, доцент, директор ИБ КарНЦ РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией экологии рыб и водных беспозвоночных

e-mail: ilmast@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Sterligova, Olga

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Laboratory for Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates

Ilmast, Nikolai

Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Director, IB KarRC RAS, Chief Researcher, Head of Laboratory for Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates