

УДК 556.558.8:639.312(470.22)

НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ САДКОВОГО ВЫРАЩИВАНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

В. Г. Михайленко, О. П. Стерлигова

Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

В статье на основании литературных и собственных данных подробно проанализировано влияние эвтрофирования, водообмена и воздействие взвешенных веществ на экологическое состояние пресноводных водоемов при выращивании радужной форели в садках. Предложена критическая концентрация общего фосфора в воде при производстве форели, и ее необходимо принимать во внимание при расчетах мощности форелевых хозяйств. Отмечено, что выход в воду из донных осадков биогенных веществ (фосфора и азота) вносит дополнительный негативный вклад в процесс эвтрофирования водоемов. Выявлено негативное воздействие взвешенных веществ на водные объекты (зообентос и зоопланктон), и это следует учитывать при экологической экспертизе водоемов. Показана важная роль водообмена при размещении форелевых хозяйств, как в целом по водоемам, так и на отдельных участках, в зависимости от расположения притоков и стока. Для предотвращения необратимых последствий на водных экосистемах с товарным выращиванием форели необходимо проведение мониторинговых исследований по гидрологическим, гидрохимическим и гидробиологическим показателям.

Ключевые слова: водные экосистемы; форелевые хозяйства; эвтрофирование; биогены; взвешенные вещества; водные объекты; водообмен.

V. G. Michailenko, O. P. Sterligova. SOME ECOLOGICAL ASPECTS OF RAINBOW TROUT CAGE REARING

The effect of eutrophication, water exchange and suspended solids on the state of the freshwater bodies used for rearing rainbow trout in cages is analyzed in detail on the basis of the relevant literature and the authors' own data. The critical total phosphorus concentration in the waters used for trout farming, which should be taken into account when calculating the output of trout farms, is proposed. It is noted that the input of nutrients (phosphorus and nitrogen) from bottom sediments to the water contributes negatively to the eutrophication of water bodies. The deleterious effect of suspended matter on water bodies (zoobenthos and zooplankton) has been revealed. It should be taken into consideration in ecological assessment of water bodies. We show that water exchange in a water body or its individual areas is essential for the siting of trout farms, depending on the location of tributaries and run-off. To prevent irreversible consequences in aquatic ecosystems used for commercial trout farming, hydrological, hydrochemical and hydrobiological indices should be monitored.

Keywords: aquatic ecosystems; trout farms; eutrophication; nutrients; suspended solids; water bodies; water exchange.

Введение

Наиболее уязвимым компонентом биосферы, которая может существенно изменяться под влиянием хозяйственной деятельности человека, является водная среда с населяющими ее организмами. В наибольшей степени антропогенному воздействию подвержены континентальные водоемы, в частности озера, реки и водохранилища. Особенно чувствительными к негативным воздействиям человека являются геологически молодые водные системы Европейского Севера, к которому территориально относится Республика Карелия [Биске, Лукашов, 1970]. Важнейшей задачей современного этапа развития страны является решение продовольственной проблемы за счет эффективного использования значительного природно-климатического и ресурсного потенциала. Именно этот потенциал водоемов позволяет рассматривать рыбное хозяйство как сектор развития, способный эффективно увеличивать производство продуктов животного происхождения и способствовать улучшению качества жизни населения.

В северных водоемах отмечается очень низкая рыбопродуктивность (1,0–3,0 кг/га), и на протяжении длительного времени наблюдается значительное сокращение запасов и падение уловов ценных промысловых рыб, что привело к интенсификации работ, направленных на интродукцию новых видов и разработку биотехники культивирования различных организмов. Как показала практика, самым перспективным и экономически выгодным направлением в Карелии является садковое рыбоводство в естественных водоемах, главным образом выращивание радужной форели *Parasalmo mykiss* (Walbaum).

За более чем 40-летний период (с 1980 г.) объемы выращивания форели значительно выросли. В 2020 г. в Республике Карелия в 67 форелевых хозяйствах было произведено 36 200 т форели (данные Ассоциации форелеводов РК), и она является лидером по ее производству (80%) в России. Успешному развитию этого 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.

Быстрый темп роста объемов форели обеспечивается благодаря помощи, оказываемой предпринимателям в рамках приоритетного национального проекта «Развитие Агропромышленного комплекса», в который по инициативе

Правительства Республики Карелия с 2007 г. включено товарное рыбоводство.

Интенсивное развитие форелеводства в республике оказывает значительное влияние на систему биотических сообществ озерных экосистем и приводит к их перестройке в трофической цепи [Китаев и др., 2003, 2006; Ильмаст, 2012; Стерлигова и др., 2012, 2018].

Цель научной работы – на основании литературных и собственных данных проанализировать влияние форелевых хозяйств на экологическое состояние пресноводных водоемов Карелии и возможность предотвращения или снижения отрицательных последствий их деятельности.

В задачи исследований входит: определить влияние эвтрофирования на водные экосистемы; оценить воздействие взвешенных веществ на состояние водных объектов; проанализировать влияние водообмена на экологическое состояние пресноводных водоемов при выращивании товарной форели в садках.

Результаты и обсуждение

Многочисленными исследованиями установлено, что основными источниками загрязнения водоемов при выращивании радужной форели в садках являются корм, продукты метаболизма и, как показали результаты гидрохимических анализов последних лет, лимитирующими факторами служат биогены [Beveridge, 1996; Морозов, 1998; Китаев, 2007; Рыжков, Кучко, 2008; Лозовик, Ефременко, 2017; Стерлигова и др., 2018]. Как известно, дополнительное поступление биогенных элементов (фосфор и азот) в водоемы влечет за собой снижение прозрачности воды, увеличение биомассы первичной продукции фитопланктона, а также других начальных звеньев трофической цепи. Ухудшается кислородный режим, возникают новые ассоциации перифитона, отмечается ежегодное цветение воды, усиленное образование детрита и заиление грунтов [Решетников и др., 1982; Комулайнен, 1998 и др.]. Изменение условий обитания отражается на видовом составе, соотношении таксономических групп, структуре популяций и количественных показателях зоопланктона, бентоса и рыб [Павловский, 1998; Кучко, 2004; Кучко, Савосин, 2020].

В странах с хорошо развитыми комплексами по выращиванию аквакультуры (Финляндия, Норвегия, Дания, Швеция) уже в конце XX века до 80% биогенов поступало в моря. В России, а особенно в Республике Карелия, все поступающие с форелевых ферм биогены остаются во внутренних пресноводных водоемах.

Представленные в статье материалы приводятся с акцентом на форель, так как ее выращивание в Карелии распространено более широко. Однако они также могут быть использованы и для других видов рыб.

Эвтрофирование водоемов. Среди основных проблем лимнологии центральное место для многих озер занимает проблема эвтрофирования [Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990; Науменко, 2007; Фрумин, Гильдеева, 2013]. Под эвтрофированием (от греч. *eu* – избыточный и *trophe* – пища) понимается повышение образования в озерах органического вещества [Россолимо, 1977; Экология..., 2001]. Если в естественных условиях эвтрофирование водоемов протекает за 1000 лет и более, то в результате антропогенного воздействия это может произойти в сто и даже тысячу раз быстрее [Одум, 1975; Решетников и др., 1982; Алимов, 2016]. Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит к неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления. При эвтрофировании в водоемах увеличивается площадь зарастания прибрежных мелководий водной растительностью, в результате аэробного разложения растений возникает дефицит кислорода в горизонтах ниже температурного скачка летом и во всей толще воды в период ледостава. В воде возрастает концентрация углекислого газа, сероводорода, аммиака, закисного железа. Сине-зелеными водорослями выделяются токсические вещества, появляется неприятный запах и вкус воды. Сокращается видовое разнообразие бентоса и зоопланктона, исчезают ценные виды рыб (в частности, лососевые и сиговые) и ухудшаются условия для рекреационного использования водоемов [Россолимо, 1977; Решетников, 1980; Антропогенное..., 1982; Нежиховский, 1990; Хендерсон-Селлерс, Марклэнд, 1990; Алимов, 2000; Полякова, 2000; Экология..., 2001; Кучко, Савосин, 2020].

Органическое загрязнение воды, возникающее при эвтрофировании водоемов, провоцирует бактериальные заболевания рыб [Ихтиопатология..., 2003; Паршуков, 2011], что может вызвать высокую гибель форели в садках, особенно молоди.

Общепризнанно, что решающая роль в эвтрофировании водоемов принадлежит фосфору [Оуэнс, 1977; Россолимо, 1977; Гусаков, 1987; Beveridge, 1996; Современное..., 1998; Кондратьев и др., 2005; Китаев, 2007 и др.]. В водоемах фосфор находится в разных формах, переходящих из одной в другую при жизнедеятельности организмов, поэтому оценку состояния водоема следует проводить по об-

щему фосфору. При концентрации общего фосфора 0,010 мг/л и более возникают потенциальные условия для цветения водорослей [Алекин, 1948; Кузнецов, 1970; Элементы..., 1987; Лозовик, Ефременко, 2017].

Большое практическое значение имеет определение критической концентрации общего фосфора, превышение которой создает реальные угрозы эвтрофирования водоемов, и она используется в расчетах мощности форелевых хозяйств [Beveridge, 1996].

Критическая концентрация общего фосфора в настоящее время не регламентируется. Как следует из обзора литературы в монографии С. П. Китаева [2007], большинство исследователей определяют минимальную концентрацию общего фосфора в эвтрофированных водоемах в пределах 0,020–0,035 мг/л, и при таких концентрациях озера могут уже переходить из статуса мезотрофных в эвтрофные [Россолимо, 1977; Гусаков, 1987; Кондратьев и др., 2005; Петрова, Сусарева, 2011]. По М. Бэвэриджу, допустимая концентрация общего фосфора в холодноводных водоемах рыбохозяйственного значения равна 0,021 мг/л [Beveridge, 1996].

При выборе критической концентрации общего фосфора, учитывая значимость показателя, следует руководствоваться принципом выбора наиболее жестких значений параметров при наименее благоприятных режимах [Правила..., 1991]. Исходя из этого принципа, с учетом вышеприведенных литературных данных, предлагается принять в качестве критической концентрации общего фосфора в водоемах величину, равную 0,020 мг/л.

Изложенный принцип необходимо использовать в расчетах при определении мощности форелевых хозяйств и при проведении экологических экспертиз состояния водных экосистем при выращивании товарной форели в садках.

Взвешенные вещества. Негативное воздействие на водные объекты при выращивании форели в садках оказывают взвешенные вещества, осаждающиеся на дно, состоящие из фекалий и несъеденного корма. Часть корма, подаваемого в садки, рыбой не поедается. Корм может быть вынесен из садка ветровым течением в озере, течением реки, течением, возникающим вследствие активного движения форели. Так, по нашим наблюдениям, в водоеме скорость течения воды из садков с крупной форелью в результате движения рыбы может достигать 12 см/с [Михайленко, 2010]. Часть корма мелких фракций уносится за пределы садков сильным ветром во время кормления. При кормлении мальков форели, которые постоянно

держатся у поверхности воды, некоторую долю корма мальки не успевают съесть, и он тонет. Потери корма составляют 1–15% [Beveridge, 1996]. Кроме этого, при избыточном кормлении перевариваемая часть корма не успевает усваиваться и выделяется в водоем вместе с фекалиями, что также следует отнести к потерям корма [Рядчиков, 2012]. Фекалии и остатки кормов содержат гораздо больше фосфора, азота и углерода, чем естественные донные отложения, и это стимулирует продуктивность микробов, изменяющих химический состав, структуру и жизнедеятельность донных отложений. В донных осадках возрастает потребность в кислороде, осадки становятся в большей степени анаэробными, возрастает выход фосфорных и азотистых соединений в воду, увеличивается производство метана и сероводорода. Выход в воду из донных осадков биогенных веществ (фосфора и азота) вносит негативный дополнительный вклад и в процесс эвтрофирования водоемов.

В загрязненных донных отложениях сокращается видовое разнообразие бентоса, доминируют виды, устойчивые к загрязнению, такие как олигохеты и личинки некоторых видов хирономид, менее устойчивые таксоны исчезают. Зона влияния на бентос обычно составляет 20–30 м от садков, редко до 150 м [Beveridge, 1996]. Вытяжка из донных осадков под садками с форелью оказалась высокотоксичной для водорослей и рачка артемии, по мере удаления от садков степень токсичности снижалась, но проявлялась и на расстоянии 60 м от садков [Горбачева, 2002].

Нами были взяты пробы грунта в районе садков с форелью через два месяца после их установки. На расстоянии 20 и 50 м от садков в пробах обнаружены бокоплавы, хирономиды и олигохеты, в пробах грунта, взятых под садками, отмечены только хирономиды и олигохеты, причем в значительно меньшем количестве. В пробах грунта под садками, эксплуатировавшимися несколько лет, крупных бентосных организмов не отмечено, в 30 м от садков обнаружены только олигохеты, на большем расстоянии в пробах присутствовали бокоплавы, хирономиды и олигохеты [Михайленко, 2010].

Для снижения негативного влияния взвешенных веществ на водные объекты необходимо минимизировать потери корма при кормлении и соблюдать нормы кормления. В то же время предотвратить попадание взвешенных веществ (в виде фекалий) из садков на дно водного объекта практически невозможно. При этом необходимо отметить, что фекалии составляют около 10% от количества корма. При выращивании 100 т форели на дно водного объекта попадает около 10 т взвешенных веществ. Согласно «Вод-

ному кодексу РФ» [2006], использование водных объектов не должно оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

Водообмен. В озерах с сильно расчлененной акваторией эвтрофирование может наблюдаться в отдельных обособленных районах [Россолимо, 1977], как, например, в некоторых заливах Ладожского озера, в частности в Сортавальских шхерах [Антропогенное..., 1982; Современное..., 1998]. Это связано с тем, что водообмен в заливах из-за их большей или меньшей изоляции часто значительно ниже, чем на акваториях в открытом озере. Кроме этого, в зависимости от расположения притоков и стока водообмен на разных участках озера может значительно различаться.

Одним из основных показателей при расчетах мощности форелевых хозяйств является показатель водообмена, представляющий собой отношение среднегодового притока в водоем (или стока из него) к объему самого водоема [Григорьев, 1958]. Показатель водообмена, рассчитанный как средний для озера, не всегда отражает каждую его часть. Так, в оз. Шотозеро притоки и сток расположены таким образом, что большую площадь водоема можно отнести к зоне активного водообмена (рис. 1).

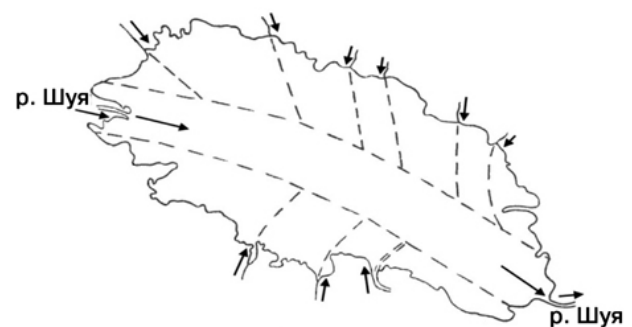


Рис. 1. Схема распределения притоков и стока в оз. Шотозеро

Fig. 1. Scheme of distribution of the tributaries and runoff in Lake Shotozero

В западной части озера Миккельское из-за расположения притока и стока водообмен ниже, чем в остальной части озера (рис. 2). Аналогичная картина наблюдается в оз. Вагатозеро (рис. 3).

В западной части озер Миккельское и Вагатозеро водообмен проходит в основном за счет ветрового перемешивания. В период ледостава (около шести месяцев в году) водообмен в указанных районах озер практически отсутствует. В период открытой воды при штиле и при скорости ветра менее 1 м/с общей продолжительнос-

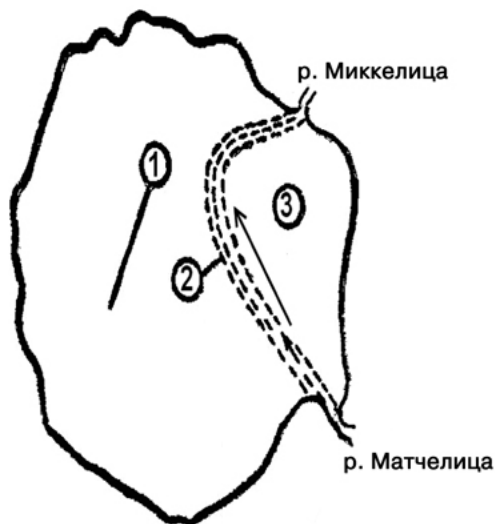


Рис. 2. Схема течений в оз. Миккельское:

1 – пассивная зона водообмена; 2 – зона при штиле, активной проточности; 3 – зона полупассивного водообмена

Fig. 2. Scheme of currents in Lake Mikkelskoe:

1 – passive water-exchange zone; 2 – zone of calm, active flow-age; 3 – zone of semi-passive water exchange

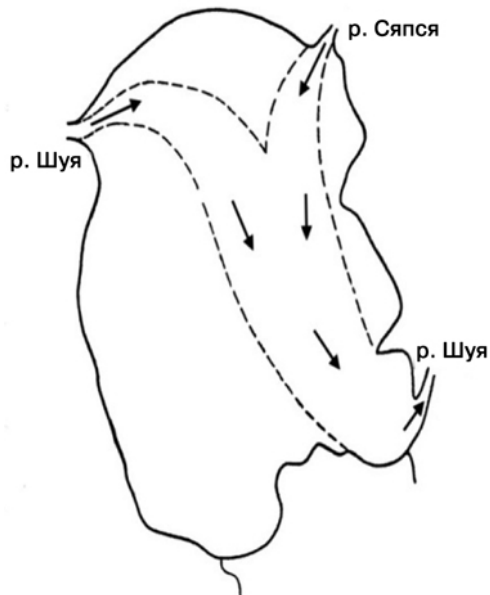


Рис. 3. Схема течений в оз. Вагатозеро

Fig. 3. Scheme of currents in Lake Vagatozero

тью около 1,5 месяца водообмен в указанных районах также незначителен. Следовательно, в течение 7,5 месяца из 12 водообмен в западной части озер очень низкий по сравнению с остальной частью и, соответственно, ниже показателя для всего озера. При размещении форелевых хозяйств в районах озер с пониженным водообменом в расчете мощности хозяйств его нельзя использовать для всего озера. Рассмотрим примеры таких хозяйств.

В оз. Сундозеро, где функционирует форелевое хозяйство, приток и сток располагаются в южной части озера (рис. 4). Следовательно, водообмен в большей части озера, в том числе и в районе размещения форелевого рыбководного хозяйства (ФРХ), ниже показателя условного водообмена, рассчитанного для всего озера.

В озере Елмозеро (Карелия) главный поток приточных вод р. Елма как бы рассекает озеро на самостоятельные части (рис. 5), каждая с собственным более низким показателем во-



Рис. 4. Бассейн оз. Сундозера

Fig. 4. Basin of Lake Sundozero

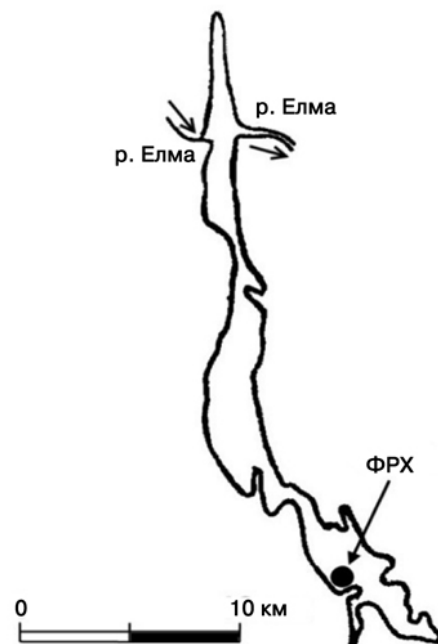


Рис. 5. Оз. Елмозеро

Fig. 5. Lake Elmozero

дообмена [Григорьев, 1958]. В южной части оз. Елмозеро располагается форелевое хозяйство. В оз. Вохтозеро форелевое хозяйство расположено в северо-восточной части озера, а все притоки и сток – в юго-восточной части (рис. 6).



Рис. 6. Бассейн оз. Вохтозера
Fig. 6. Basin of Lake Vohtozero

Фактически части озер Елмозеро и Вохтозеро, где располагаются форелевые хозяйства, представляют собой самостоятельные озера, связанные с остальной частью водоема проливами. Показатели водообмена на акватории указанных форелевых хозяйств значительно ниже, чем в целом для озер. В таких ситуациях необходимо рассчитывать показатель водообмена для части озера, где предполагается разместить форелевые садки.

Заключение

Таким образом, анализ результатов показал, что антропогенное эвтрофирование водоемов можно значительно сократить, если будут надежно контролироваться концентрации биогенных веществ (в первую очередь общего фосфора), воздействие взвешенных веществ и учитываться показатель водообмена. Результаты этих исследований помогут более точно определить объемы выращивания форели в садках в пресноводных водоемах Карелии без ущерба для водопользователей. Использование вод-

ных объектов не должно оказывать негативного воздействия на окружающую среду при соблюдении допустимых нагрузок на озера.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (0218-2019-0081).

Литература

- Алекин О. А. Общая гидрохимия. Л.: Гидрометеоздат, 1948. 208 с.
- Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
- Алимов А. Ф. Еще раз об экологии. СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2016. 62 с.
- Антропогенное эвтрофирование Ладожского озера. Л.: Наука, 1982. 304 с.
- Биске Г. С., Лукашов А. Д. Генетическая классификация озерных котловин Карелии // История озер. Тр. Всесоюзн. симп. Вильнюс, 1970. Т. 2. С. 258–274.
- Водный кодекс Российской Федерации. М.: Юрайт-Издат, 2006. 102 с.
- Горбачева Е. А. Токсикологический мониторинг воды и донных осадков в районе размещения форелевого хозяйства // Экология Северных территорий России. Архангельск: СевПИНРО, 2002. Т. 1. С. 529–533.
- Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении // Труды Карельского филиала АН СССР. Петрозаводск, 1958. Вып. 18. С. 29–45.
- Гусаков Б. Л. Критическая концентрация фосфора в озерном притоке и ее связь с трофическим уровнем водоема // Элементы круговорота фосфора в водоемах. Л.: Наука, 1987. С. 7–17.
- Ильмаст Н. В. Рыбное население пресноводных экосистем Карелии в условиях их хозяйственного освоения: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2012. 44 с.
- Ихтиопатология. М.: Мир, 2003. 456 с.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
- Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 40 с.
- Китаев С. П., Стерлигова О. П., Павловский С. А., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А. Оценка влияния форелевой фермы на озерно-речную систему р. Лижма (бассейн Онежского озера) // Биология внутренних вод. 2003. № 2. С. 92–99.
- Комулайнен С. Ф. О реакции альгоценозов на поступление стоков с форелевой фермы // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 100–110.
- Кондратьев С. А., Расплетина Г. Ф., Игнатьева Н. В., Алябина Г. А., Лыскова У. С. Моделирование баланса фосфора в крупных озерно-речных системах (на примере водной системы Ладожского озера и Невской губы) // Экологическое состояние конти-

ментальных водоемов северных территорий. СПб.: Наука, 2005. С. 306–313.

Кузнецов С. И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970. 440 с.

Кучко Я. А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной системы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 26 с.

Кучко Я. А., Савосин Е. С. Оценка состояния сообществ зоопланктона и макрозообентоса экосистемы Маслозера в зоне размещения форелевого хозяйства // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2020. № 5 (172). С. 10–20.

Лозовик П. А., Ефременко Н. А. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. СПб.: Нестор-История, 2017. 270 с.

Михайленко В. Г. Некоторые экологические аспекты выращивания лососевых рыб в садках // Воспроизводство естественных популяций ценных видов рыб: Сб. ст. междунар. науч. конф. СПб.: ГосНИОРХ, 2010. С. 127–129.

Морозов А. К. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов РК. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 122–124.

Науменко М. А. Эвтрофирование озер и водохранилищ. Учебное пособие. СПб.: РГГМУ, 2007. 100 с.

Нежиховский Р. А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 229 с.

Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1975. Т. 2. 376 с.

Оуэнс М. Биогенные элементы, их источники и роль в речных системах // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям: Тр. советско-английского семинара. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 54–64.

Павловский С. А. Макрозообентос оз. Тарасмозера в первые годы эксплуатации форелевой фермы // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 135–140.

Паршуков А. Н. Микробиоценоз радужной форели в садковых хозяйствах Карелии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: ПетрГУ, 2011. 25 с.

Петрова Т. Н., Сусарева О. М. Возможность оценки степени эвтрофирования Ладожского озера по величине «Индекса трофического состояния (ITS)» // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб.: Любавич, 2011. С. 19–25.

Полякова Т. Н. Донные ценозы в условиях антропогенного эвтрофирования // Онежское озеро: Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. С. 211–227.

Правила охраны поверхностных вод (типовые положения). М.: Госкомприрода, 1991. 34 с.

Решетников Ю. С. Экология и систематика сигмовых рыб. М.: Наука, 1980. 301 с.

Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П., Титова В. Ф., Бушман Л. Г., Иешко Е. П., Макарова Н. П., Малахова Р. П., Помазовская И. В., Смирнов Ю. А. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.

Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю. Садковое рыбоводство. Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. 56 с.

Россолимо Л. Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М.: Наука, 1977. 144 с.

Рядчиков В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар, 2012. 328 с.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.

Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В. Состояние некоторых водоемов Северной Карелии и их использование для товарного выращивания форели // Тр. Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2012. Вып. 2. С. 39–45.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Кучко Я. А., Комулайн С. Ф., Савосин Е. С. Состояние пресноводных водоемов Карелии с товарным выращиванием радужной форели в садках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 127 с.

Фруммин Г. Т., Гильдеева И. М. Эвтрофирование водоемов – глобальная экологическая проблема // Экологическая химия. 2013. Т. 22, № 4. С. 191–197.

Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х. Р. Умиряющие озера. Л.: Наука, 1990. 279 с.

Экология: Учебник для технических вузов. СПб.: Химиздат, 2001. 552 с.

Элементы круговорота фосфора в водоемах. Л.: Наука, 1987. 104 с.

Beveridge M. Cage aquaculture. London, 1996. 346 p.

Поступила в редакцию 26.10.2021

References

Alekin O. A. Obshchaya gidrokhimiya [General hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1948. 208 p.

Alimov A. F. Elementy teorii funktsionirovaniya vodnykh ekosistem [Elements of the theory of aquatic ecosystems functioning]. St. Petersburg: Nauka, 2000. 147 p.

Alimov A. F. Eshche raz ob ekologii [Once again about ecology]. St. Petersburg: KMK, 2016. 62 p.

Antropogennoe evtrofirovaniye Ladozhskogo ozera [Anthropogenic eutrophication of Lake Ladoga]. Leningrad: Nauka, 1982. 304 p.

Biske G. S., Lukashov A. D. Geneticheskaya klassifikatsiya ozernykh kotlovin Karelii [Genetic classification of lake basins in Karelia]. Istoriya ozer [History of lakes]: Proceed. of the All-Union symp. Vilnius, 1970. Vol. 2. P. 258–274.

Ekologiya: Uchebnik dlya tekhnicheskikh vuzov [Ecology: A textbook for technical universities]. St. Petersburg: Khimizdat, 2001. 552 p.

Elementy krugovorota fosfora v vodoemakh [Elements of the phosphorus cycle in water bodies]. Leningrad: Nauka, 1987. 104 p.

Frumin G. T., Gil'deeva I. M. Evtrofirovaniye vodoemov – global'naya ekologicheskaya problema [Eutrophication of water bodies – a global ecological problem]. *Ekol. khim.* [Ecol. Chem.]. 2013. Vol. 22, no. 4. P. 191–197.

Gorbacheva E. A. Toksikologicheskii monitoring vody i donnykh osadkov v raione razmeshcheniya forelevogo khozyaistva [Toxicological monitoring of water and bottom sediments in the area of the trout farm]. *Ekol. severnykh territorii Rossii* [Ecol. of the Northern territories of Russia]. Arkhangel'sk: SevPINRO, 2002. Vol. 1. P. 529–533.

Grigor'ev S. V. O nekotorykh opredeleniyakh i pokazatelyakh v ozerovedenii [On some definitions and indicators in lake science]. *Proceed. of the Karelian br. of the USSR Acad. of Sci.* Petrozavodsk, 1958. Iss. 18. P. 29–45.

Gusakov B. L. Kriticheskaya kontsentratsiya fosfora v ozernom pritoke i ee svyaz' s troficheskim urovnem vodoema [Critical concentration of phosphorus in the lake tributary and its relationship with the trophic level of the reservoir]. *Elementy krugovorota fosfora v vodoemakh* [Elements of the phosphorus cycle in reservoirs]. Leningrad: Nauka, 1987. P. 7–17.

Il'mast N. V. Rybnoe naselenie presnovodnykh ekosistem Karelii v usloviyakh ikh khozyaistvennogo osvoeniya [Fish population of freshwater ecosystems in Karelia in terms of their economic development]: Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Moscow, 2012. 44 p.

Ikhtopatologiya [Ichthyopathology]. Moscow: Mir, 2003. 456 p.

Khenderson-Sellers B., Marklend Kh. R. Umirayushchie ozera [Dying lakes]. Leningrad: Nauka, 1990. 279 p.

Kitaev S. P. Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtologov [Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 395 p.

Kitaev S. P., Il'mast N. V., Sterligova O. P. Metody otsenki biogennoi nagruzki ot forelevykh ferm na vodnye ekosistemy [Methods of estimating the nutrient load from trout farms on water ecosystems]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. 40 p.

Kitaev S. P., Sterligova O. P., Pavlovskii S. A., Komulainen S. F., Kuchko Ya. A. Otsenka vliyaniya forelevoi fermy na ozerno-rechnuyu sistemu r. Lizhma (bassein Onezhskogo ozera) [Assessment of the influence of a trout farm on the lake-river system of the Lizhma River (Lake Onega basin)]. *Biol. vnutr. vod* [Inland Water Biol.]. 2003. No. 2. P. 92–99.

Komulainen S. F. O reaktsii al'gotsenozov na postuplenie stokov s forelevoi fermy [On the reaction of algal-cenoses to the flow of effluents from a trout farm]. *Probl. lososevykh na Evropeiskom Severe* [Probl. of salmon in the European North]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 100–110.

Kondrat'ev S. A., Raspletina G. F., Ignat'eva N. V., Alyabina G. A., Lyskova U. S. Modelirovaniye balansa fosfora v krupnykh ozerno-rechnykh sistemakh (na primere vodnoi sistemy Ladozhskogo ozera i Nevskoi guby) [Modeling the phosphorus balance in large lake-river systems (on the example of the water system of Lake Ladoga and the Neva Bay)]. *Ekol. sostoyaniye kontinental'nykh vodoemov severnykh territorii* [Ecol.

state of continental reservoirs of the northern territories]. St. Petersburg: Nauka, 2005. P. 306–313.

Kuznetsov S. I. Mikroflora ozer i ee geokhimitskaya deyatelnost' [Microflora of lakes and its geochemical activity]. Leningrad: Nauka, 1970. 440 p.

Kuchko Ya. A. Vliyaniye forelevogo khozyaistva na soobshchestvo zooplanktona ozerno-rechnoi sistemy [The influence of trout farming on the zooplankton community of the lake-river system]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk, 2004. 26 p.

Kuchko Ya. A., Savosin E. S. Otsenka sostoyaniya soobshchestv zooplanktona i makrozoobentosa ekosistemy Maslozera v zone razmeshcheniya forelevogo khozyaistva [Assessment of the state of zooplankton and macrozoobenthos communities of the Maslozero Lake ecosystem in the area of the trout farm]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo* [Fish Farming and Fisheries]. 2020. No. 5 (172). P. 10–20.

Lozovik P. A., Efremenko N. A. Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic and computational methods in hydrochemical practice]. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 270 p.

Mikhailenko V. G. Nekotorye ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya lososevykh ryb v sadkakh [Some ecological aspects of growing salmonids in cages]. *Vosproizvodstvo estestvennykh populyatsii tsennykh vidov ryb* [Reproduction of natural populations of valuable fish species]. St. Petersburg: GosNIORKH, 2010. P. 127–129.

Morozov A. K. Khimicheskii sostav vody [Chemical composition of water]. *Sovr. sostoyaniye vodnykh ob'ektov RK* [Modern state of water bodies in the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 122–124.

Naumenko M. A. Evtrofirovaniye ozer i vodokhranilishch. Uchebnoe posobie [Eutrophication of lakes and reservoirs. A study guide]. St. Petersburg: RGGMU, 2007. 100 p.

Nezhikhovskii R. A. Gidrologo-ekologicheskie osnovy vodnogo khozyaistva [Hydrological-ecological foundations of water management]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 229 p.

Odum Yu. Ekologiya [Ecology]. Moscow: Mir, 1975. Vol. 2. 376 p.

Ouens M. Biogennye elementy, ikh istochniki i rol' v rechnykh sistemakh [Biogenic elements, their sources and role in river systems]. *Nauch. osnovy kontrolya kachestva poverkhnostnykh vod po gidrobiol. pokazatelyam* [Sci. bases for controlling the quality of surface water in hydrobiol. indicator]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. P. 54–64.

Pavlovskii S. A. Makrozoobentos ozera Tarasmozera v pervye gody ekspluatatsii forelevoi fermy [Macrozoobenthos of Lake Tarasmozero in the first years of operation of a trout farm]. *Probl. lososevykh na Evropeiskom Severe* [Probl. of salmon in the European North]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 135–140.

Parshukov A. N. Mikrobiotsenoz raduzhnoi foreli v sadkovykh khozyaistvakh Karelii [Microbiocenosis of rainbow trout in cage farms in Karelia]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk, 2011. 25 p.

Petrova T. N., Susareva O. M. Vozmozhnost' otsenki stepeni evtrofirovaniya Ladozhskogo ozera po velichine «Indeksa troficheskogo sostoyaniya (ITS)» [Possibility of

assessing the degree of eutrophication of Lake Ladoga by the value of the "Index of trophic state (ITS)". *Bioindikatsiya v monitoringe presnovod. ekosistem* [Bioindication in monitoring freshwater ecosystems]. St. Petersburg: Lyubavich, 2011. P. 19–25.

Polyakova T. N. Donnye tsenozy v usloviyakh antropogennogo evtrofirovaniya [Bottom cenoses in conditions of anthropogenic eutrophication]. *Onezhskoe ozero: Ekol. probl.* [Lake Onega: Environ. probl.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2000. P. 211–227.

Pravila okhrany poverkhnostnykh vod (tipovye polozeniya) [Surface water protection rules (standard provisions)]. Moscow: Goskompriroda, 1991. 34 p.

Reshetnikov Yu. S. Ekologiya i sistematika sigovykh ryb [Ecology and systematics of whitefish]. Moscow: Nauka, 1980. 300 p.

Reshetnikov Yu. S., Popova O. A., Sterligova O. P., Titova V. F., Bushman L. G., Ieshko E. P., Markarova N. P., Malakhova R. P., Pomazovskaya I. V., Smirnov Yu. A. Izmenenie struktury rybnogo naseleniya evtrofirovannogo vodoema [Changes in the structure of the fish population of the eutrophied reservoir]. Moscow: Nauka, 1982. 248 p.

Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu. Sadkovoje rybovodstvo [Cage fish farming]. Petrozavodsk: PSU, 2008. 56 p.

Rossolimo L. L. Izmenenie limnicheskikh ekosistem pod vozdeistviem antropogennogo faktora [Changes in

limnic ecosystems under the influence of anthropogenic factors]. Moscow: Nauka, 1977. 144 p.

Ryadchikov V. G. Osnovy pitaniya i kormleniya sel'sko-khozyaistvennykh zivotnykh [Fundamentals of nutrition and feeding of farm animals]. Krasnodar, 2012. 328 p.

Sovremennoe sostoyanie vodnykh ob"ektov Respubliki Kareliya [The current state of water bodies in the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. 188 p.

Sterligova O. P., Kitaev S. P., Il'mast N. V. Sostoyanie nekotorykh vodoemov Severnoi Karelii i ikh ispol'zovanie dlya tovarnogo vyrashchivaniya foreli [The state of some water bodies in North Karelia and their use for commercial trout cultivation]. *Proceed. of the Kola Sci. Center of the RAS. Appl. Ecol. of the North.* Apatity: KRC RAS, 2012. Iss. 2. P. 39–45.

Sterligova O. P., Il'mast N. V., Kuchko Ya. A., Komulainen S. F., Savosin E. S. Sostoyanie presnovodnykh vodoemov Karelii s tovarnym vyrashchivaniem raduzhnoi foreli v sadkakh [State of freshwater reservoirs in Karelia with commercial cultivation of rainbow trout in cages]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2018. 127 p.

Vodnyi kodeks Rossiiskoi Federatsii [Water Code of the Russian Federation]. Moscow: Yurait-Izdat, 2006. 102 p.

Beveridge M. Cage aquaculture. London, 1996. 346 p.

Received October 26, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Михайленко Владимир Герасимович

научный сотрудник, к. б. н.
эл. почта: volodya921@gmail.com

Стерлигова Ольга Павловна

главный научный сотрудник, д. б. н.
Институт биологии КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: o.sterligova@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Michailenko, Vladimir

e-mail: volodya921@gmail.com

Sterligova, Olga

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Russia
e-mail: o.sterligova@yandex.ru