

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 574.58:639.332

**СОСТОЯНИЕ ПРЕСНОВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ  
ПРИ ТОВАРНОМ ВЫРАЩИВАНИИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ  
В ОЗЕРЕ ВЕРХНЕЕ ПУЛОНГСКОЕ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)**

© 2015 г. О. П. Стерлигова, Н. В. Ильмаст, Я. А. Кучко, Е. С. Савосин

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, 185910  
E-mail: ilmast@karelia.ru*

Поступила в редакцию 04.03.2014 г.

Представлены результаты исследований гидрохимического, гидробиологического режимов, рыбного населения и расчета фосфорной и азотной нагрузки на озере Верхнее Пулонгское после пяти лет эксплуатации форелевого комплекса. Проведена экологическая экспертиза объемов производства форели в водоеме. Анализ данных показал, что состояние водной экосистемы находится в пределах естественных колебаний количественных показателей планктона и бентоса. Определено, что в водоеме допустимо производство радужной форели в объеме 600 т в год.

**Ключевые слова:** водные экосистемы, форелеводство, биогенная нагрузка, экологическая экспертиза.

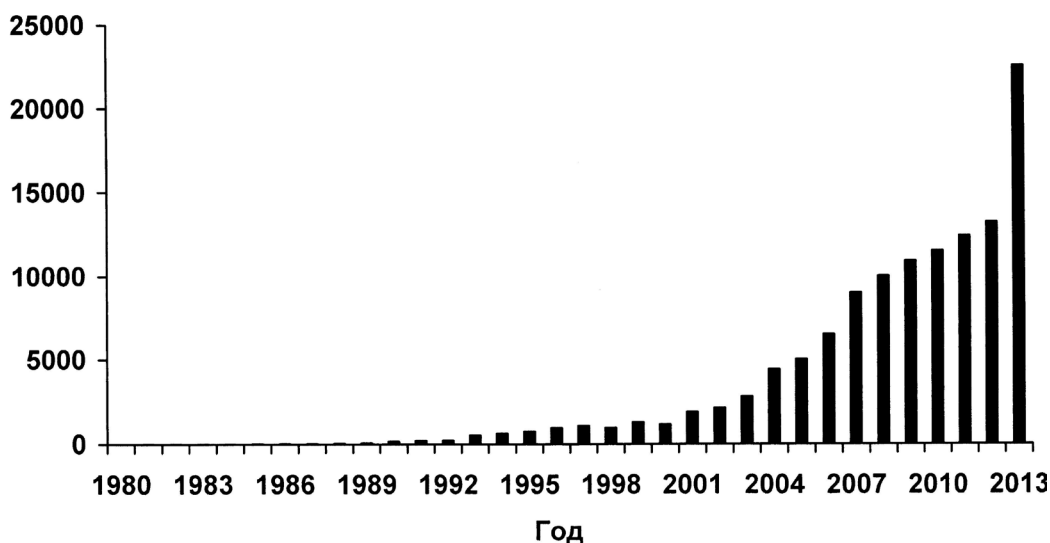
**ВВЕДЕНИЕ**

Среди биологических ресурсов, имеющих важное социально-экономическое значение, особое место занимают водные организмы, где ведущая роль принадлежит рыбному сообществу (Павлов, Стриганова, 2005). Резкое падение промысла ценных видов рыб связано главным образом с антропогенным влиянием на водные экосистемы (эвтрофирование водоемов за счет усиленного поступления биогенов, техногенное загрязнение, внутригодовое перераспределение стока рек, глобальное изменение климата, нерациональный промысел, браконьерский лов). Поэтому разработка методологических аспектов устойчивого использования биоресурсов и сохранение ресурсной базы для будущих поколений требуют развития фундаментальных исследований в данной области. В условиях растущего техногенного пресса все большее значение приобретают технологии искусственного разведения ценных видов рыб.

Перспективным направлением развития рыбного хозяйства в Республике Ка-

релия является садковое рыбоводство, главным образом производство радужной форели *Parasalmo mykiss* Walbaum, целью которого является обеспечение населения рыбной продукцией при сохранении растущих потребностей в чистой воде. Успешному развитию рыбоводства способствуют благоприятные климатические условия региона, наличие транспортных сетей и квалифицированных кадров (Рыжков, 2002; Китаев и др., 2005). Развитие форелеводства 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. Объемы его производства в Республике растут нарастающими темпами, особенно в последние годы (рисунок).

В настоящее время в России до 70% садковой форели выращивается в Карелии. При таких темпах развития форелеводства вся система наблюдений должна быть направлена на охрану окружающей среды и



Объемы выращивания товарной радужной форели в Карелии в разные годы, т.

определение предельных объемов выращивания форели в водоемах Республики.

Цель исследования — оценить состояние озера Верхнее Пулонгское при выращивании радужной форели и уточнить предельные объемы ее производства после 5 лет эксплуатации фермы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Озеро Верхнее Пулонгское расположено в северной части Республики Карелия ( $66^{\circ}19'$ с.ш. и  $33^{\circ}12'$ в.д.), относится к бассейну Белого моря. В литературных источниках по озеру имеются только гидрологические данные (Григорьев, Грицевская, 1959). Площадь водной поверхности составляет  $28,4 \text{ км}^2$ , наибольшая длина — 16 км, ширина — 3,4 км. Водоем глубоководный, средняя глубина — 15,0 м, наибольшая — около 50 м. Удельный водосбор равен 31,2, коэффициент условного водообмена составляет 0,45, т.е. водные массы озера полностью возобновляются за счет притока воды с водосбора каждые два года. Все эти показатели играют существенную роль при выращивании рыбы. Из озера вытекает река Пулонга, впадающая в Чупинскую губу Белого моря. В хозяйственном отношении озеро и его водосбор

используются для рекреационных целей и любительского рыболовства, а водосборная площадь для рубок леса и в прошлом — для добычи слюды.

На водоеме с 2007 г. расположена форелевая ферма, на которой выращивается 600 т радужной форели в год. Материалом для настоящей статьи послужили результаты комплексных исследований в летне-осенний период 2012 г. В соответствии с программой работ пробы (зоопланктон, макрозообентос) для гидрохимического и гидробиологического анализа отбирали на трех постоянных станциях: непосредственно около садков и далее на расстоянии 150–200 м от садков на северо-запад и юго-восток.

Химический состав воды определяли по стандартным методикам (Абакумов, 1977) в лаборатории гидрохимии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

Для отбора проб зоопланктона применяли батометр Руттнера объемом 2 л, при этом облавливали все слои воды (поверхность—дно) с интервалом в 1 м. Затем пробы процеживали через планктонную сеть Джели (диаметр 18 см, сито № 55) с мельничным газом № 70, концентрировали до  $100 \text{ мм}^3$  и фиксировали 4%-ным формалином. Последующую обработку проб проводили по

стандартной методике (Кутикова, 1977; Методические рекомендации ..., 1984). Также определяли индекс видового разнообразия (Shannon, Weaver, 1949) и трофический статус водоема (Китаев, 2007).

Отбор проб макрозообентоса осуществляли дночерпателем ДАК-250 (модификация Экмана—Берджа) с площадью захвата  $1/40 \text{ м}^2$ , последующей промывкой грунта через сито № 19 (ячея 0,5 мм) и фиксацией 8%-ным раствором формальдегида. На каждой станции отбирали по два дночерпателя. Беспозвоночных взвешивали с точностью 0,1 мг на торсионных весах. Камеральную обработку материала проводили по стандартной методике (Жадин, 1956).

Сбор ихтиологического материала осуществляли набором сетей (14—60 мм) по всему водоему. Камеральную обработку проводили по методике Правдина (1966).

Место размещения садкового хозяйства на озере Верхнее Пулонгское отвечает всем предъявляемым требованиям. Глубина на месте установки садков составляет 8—10 м. Расстояние садков от береговой линии — 100 м. Скорость течения колеблется от 0,02 до 0,2 м/с. Высота волны на акватории выращивания не превышает 1,5 м. Рельеф дна акватории озера без глубоких впадин, что способствует рассеиванию не усвоенного рыбами корма и продуктов метаболизма.

На данном хозяйстве применяются надводные делевые садки, которые устанавливаются на понтонах с якорной системой крепления. Садки имеют круглую форму с объемом от 100 до 25 тыс.  $\text{м}^3$  и разное назначение — выростные, нагульные, зимовальные. Садки небольших размеров объединяются в садковые линии, большие устанавливаются индивидуально. Каждая секция объединяет 8—10 садков. Общая протяженность садковых линий достигает 200—250 м (до 20 скрепленных между собой садковых секций). Размер ячеей дели зависит от массы рыбы. Так, при массе рыбы 50—100 г размер ячей равен 6—10 мм, при 100—200 г — 10—12 мм, более 200 г — 12—16 мм. Размер площади для установки сад-

ков обеспечивает расширение или перемещение садков для сохранения благоприятных экологических условий. Имеется запасное место для размещения садков на случай возникновения опасных для производства условий (ухудшение гидрохимического режима, антропогенное загрязнение, неблагоприятная эпизоотическая ситуация и др.).

В зависимости от гидрологических показателей озер (наличие островов, загубин и прочего) необходимо учитывать возможность образования застойных зон с избытком биогенов. В данном случае мы имеем хорошо проточный водоем, практически без островов и загубин, поэтому биогены накапливаться в озере не успевают.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ химического состава воды показал, что озеро относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Вода мягкая, ее жесткость составляет 0,20 мг-экв/л, минерализация — 15,7—26,5 мг/л, цветность — около 45°. Содержание органических веществ невелико — перманганатная окисляемость колеблется в пределах 9,7—11,7  $\text{мгO}_2/\text{л}$ , значения бикарбонатного потребления кислорода (БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>20</sub>) варьируют в незначительных пределах — соответственно 0,7—1,1 и 1,0—1,3  $\text{мгO}_2/\text{л}$ . Содержание общего фосфора (0,013—0,027 мг/л) и азота (0,51—0,57 мг/л) характерно для олиготрофных водоемов (Современное состояние ..., 1998). Вода озера хорошо насыщена кислородом, активная ее реакция близка к нейтральной (рН 6,7—7,1) и в целом отвечает всем требованиям качества для выращивания товарной форели (Vollenweider, 1968; Абакумов, 1977).

В условиях антропогенного воздействия динамика гидробиологических показателей играет существенную роль при мониторинге водных объектов, так как короткий жизненный цикл зоопланктона позволяет даже при проведении ограниченных во времени наблюдений не только определить современное состояние водоема, но и дать его

прогностическую оценку. По мнению ряда авторов, видовой состав гидробионтов является одним из консервативных признаков и может сохранять относительную стабильность в условиях эвтрофирования в течение десятилетий (Patalas, Salki, 1973; Андроникова, 1996; Алимов и др., 2005). Анализ полученных данных свидетельствует в пользу этой точки зрения.

Гидробиологические исследования на озере ранее не проводились. Список организмов зоопланктона, отмеченных нами, насчитывает 31 вид. Из них Rotifera — 11 видов, Cladocera — 14, Calanoida — 2 и Cyclopoida — 4. К числу доминирующих видов относятся *Asplanchna priodonta*, *Bosmina longirostris*, *B. (Eubosmina) coregoni*, *Daphnia cristata*, *Eudiaptomus gracilis*. В целом видовой состав зоопланктона оз. В. Пулонгское характерен для холодноводных олиготрофных водоемов бореальной зоны и представлен в основном северными и эвритопными видами.

Зоопланктон озера характеризуется низкими количественными показателями. В летний период средняя биомасса составляла 0,33 г/м<sup>3</sup> при численности 10,5 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Существенных различий в концентрации планктонных организмов вблизи садковых линий и на расстоянии 300—500 м не отмечено. Колебания биомассы зоопланктона составили 0,245—0,492 и 0,220—0,380 г/м<sup>3</sup> соответственно. Видовой состав характеризовался однородностью с сохранением доминирующих видов. В осенний период количественные показатели закономерно снижаются до 0,059 г/м<sup>3</sup> и 7,2 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Различия в горизонтальном распределении планктона также незначительны.

По уровню количественного развития зоопланктона озеро В. Пулонгское можно характеризовать как  $\beta$ -олиготрофный водоем. Средние индексы сапробности составили 1,22 летом и 1,14 — осенью, что соответствует классу олигосапробных водных объектов (чистые природные воды).

Зообентос озера также характеризуется низкими количественными показателями: летом — 1,96, осенью — 0,30 г/м<sup>2</sup>, что харак-

терно для холодноводных олиготрофных водоемов бореальной зоны. Главную роль в составе донной фауны водоема играют амфиподы и водные насекомые, в частности личинки хирономид. Особую ценность водоему придает наличие реликтовых ракообразных, представленных понтопореей *Monoporeia (Pontoporeia) affinis*. Из представителей других групп бентоса можно отметить пизидиум (*Bivalvia*), который является характерным элементом донных биоценозов олиготрофных водоемов. Анализ полученных данных показал, что значительных изменений в структуре донного сообщества на таксономическом уровне не выявлено как непосредственно в зоне садков, так и в створе на удалении 150—200 м. Основу макрозообентоса составляют представители групп Chironomidae, Bivalvia, Amphipoda. Однако отмечены изменения концентрации донных организмов по мере удаления от садков (800 м). Так, биомассы Chironomidae и Amphipoda снижаются в 2,4 раза и составляют соответственно 0,05 и 0,17 г/м<sup>2</sup>, а их численность снижается почти в 4 раза и равна 60 и 127 экз/м<sup>2</sup> соответственно. Следует также отметить, что представители Bivalvia не были обнаружены в створе на удалении от садков.

В целом видовой состав зообентоса исследуемого водоема характерен для олиготрофных водоемов таежной зоны. По уровню количественного развития зообентоса озеро можно отнести к  $\beta$ -олиготрофному водоему, к группе амфиподо-ортокладиновых (Китаев, 2007).

В озере обитают семь видов рыб, относящихся к шести семействам — кумжа *Salmo trutta*, сиг *Coregonus lavaretus*, ряпушка *Coregonus albula*, окунь *Perca fluviatilis*, плотва *Rutilus rutilus*, щука *Esox lucius*, налим *Lota lota*. В уловах преобладают окунь и плотва.

*Расчеты биогенной нагрузки.* При выращивании форели в садках в окружающую среду выделяются органические соединения и биогенные элементы, главным образом, азот и фосфор. Источниками их поступления являются преимущественно продукты метаболизма рыб. При этом величина поступления соединений и биогенов в водную

среду зависит от содержания этих компонентов в кормах, используемых при выращивании, поэтому необходимо соблюдать режим кормления в зависимости от массы рыбы и температуры воды.

Расчеты поступления биогенов в озеро были выполнены разными способами и дали близкие результаты (Китаев и др., 2006; Горбачев, 2010). При определении объемов выращивания радужной форели учитывали следующие показатели: площадь водосбора, удельный водосбор, площадь водной поверхности, среднюю глубину, максимальную глубину, прозрачность, показатель условного водообмена, отношение прозрачности к средней глубине, среднегодовой расход воды из истока, показатель стока, а также гидрохимический состав воды (ОСТ 15.372–87). Данные по биогенной нагрузке на озеро приведены в таблице.

Сопоставление фосфорной и азотной нагрузки (с учетом проточности водоема и других показателей) с допустимыми и опасными величинами показывает, что суммарная нагрузка по фосфору при качественных кормах после пяти лет эксплуатации фермы не достигает допустимых величин при глубине 10 м (по фосфору — 180, по азоту — 2000 мг/м<sup>2</sup> в год) и на данный момент не может изменить трофического статуса озера (Оуэнс, 1977).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных показал, что качество воды в озере Верхнее Пулонгское после пяти лет эксплуатации фермы отвечает всем требованиям для выращивания радужной форели. По уровню количественного развития зоопланктона и

бентоса озеро можно охарактеризовать как  $\beta$ -олиготрофный водоем. Суммарная биогенная нагрузка по фосфору и азоту в настоящее время при качественных кормах не превышает допустимые величины и, следовательно, не может изменить трофический статус водоема. Производственная мощность садкового форелевого комплекса на озере Верхнее Пулонгское на данный момент может оставаться на прежнем уровне — 600 т рыбы в год. Следует отметить, что такой результат отмечен не на всех исследуемых рыбоводных хозяйствах, поэтому на водоемах с товарным выращиванием форели необходимо проводить постоянный контроль, экологическую экспертизу и корректировку объемов ее производства по основным базовым параметрам (гидрохимия, гидробиология, качество и количество используемого корма) как минимум один раз в три года (Рыжков, 2002; Китаев и др., 2006; Стерлигова и др., 2011; Остроумова, 2012). Это должно быть обязательным условием в период эксплуатации ферм и отражено в биологическом обосновании при строительстве новых форелевых комплексов.

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Отделения общей биологии РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий», Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития», Минобрнауки РФ (НС-1410.2014.4; Соглашение 8101), гранта РФФИ № 12–04–00022а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. Контроль качества вод по гидрологическим показателям в си-

Биогенная нагрузка на озеро Верхнее Пулонгское при объеме производства фермы 600 т

Содержание	Нагрузка		
	общая, кг	на 1 м <sup>3</sup> , мг	на 1 м <sup>2</sup> , мг
Фосфор	4800	11,3	169,0
Азот	42000	98,6	1478,8

стеме гидробиологической службы СССР // Научные основы в системе контроля качества поверхностных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 93–99.

Алимов А.Ф., Бульон В.В., Голубков С.М. Динамика структурно-функциональной организации экосистем континентальных водоемов // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Т-во науч. изданий КМК, 2005. С. 241–253.

Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Горбачев С.А. Методология и практика оценки ущерба водным биоресурсам от хозяйственной деятельности. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. 383 с.

Григорьев С.В., Грицевская Г.Л. Каталог озер КАССР. М.; Л.: Изд-во КФ АН СССР, 1959. 240 с.

Жадин В.И. Методика изучения донной фауны и экологии донных беспозвоночных // Жизнь пресных вод СССР. Т. 4. Ч. 1. М.; Л.: Наука, 1956. С. 279–382.

Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Китаев С.П., Ильмаст Н.В., Михайленко В.Г. Кумжи, радужная форель, голец и перспективы их использования в озерах Северо-запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 107 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.

Кутикова Л.А. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 19 с.

Остроумова И.Н. Биологические основы кормления рыб. СПб.: ГосНИОРХ, 2012. 564 с.

Оуэнс М. Биогенные элементы, их источники и роль в водных экосистемах // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л.: Гидрометеиздат, 1977. С. 54–64.

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

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Наука, 1966. 376 с.

Рыжков Л.П. Состояние и возможности аквакультуры на Европейском Севере // Матер. Междунар. конф. «Проблемы воспроизводства, кормления и борьбы с болезнями рыб при выращивании в искусственных условиях». Петрозаводск: ПГУ, 2002. С. 14–21.

Современное состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 129–133.

Стерлигова О.П., Ильмаст Н.В., Китаев С.П. Оценка состояния водных экосистем Карелии при товарном выращивании форели // Матер. Междунар. конф. «Экологические проблемы пресноводных рыбохозяйственных водоемов России». Казань: Татар. отд. ГосНИОРХ, 2011. С. 125–128.

Patalas K., Salki A. Crustacean plankton and the eutrophication of lakes in the Okanagan Valley, British Columbia // J. Fish. Res. Board Canada. 1973. V. 30. № 4. P. 519–542.

Shannon C.E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117 p.

Vollenweider R.A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factor in eutrophication // OECD Techn. Rep. 1968. V. 68. № 27. P. 1–182.

**THE STATE OF A FRESHWATER ECOSYSTEM  
UNDER COMMERCIAL CULTIVATION OF RAINBOW TROUT  
IN LAKE VERCHNEE PULONGSKOE (NORTH KARELIA)**

© 2015 г. О. Р. Sterligova, N. V. Ilmast, Ya. A. Kuchko, E. S. Savosin

*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,  
Petrozavodsk, 185910*

Research results of hydrochemical, hydrobiological regimes, fish populations and calculating phosphorus and nitrogen loads in Lake Verchnee Pulongskoe after five years of operation trout complex presented. Environmental assessment of trout production volumes in the water body conducted. Analysis of the data showed that the aquatic ecosystem is within the natural variation of quantitative parameters for zooplankton and benthos. It is shown that acceptable cultivation of trout in the water body is in the volume 600 tons per year.

*Keywords:* water ecosystem, trout cultivation, biogenic load, environmental assessment.