

# Экологическая безопасность садкового рыбоводства

*А. П. Рыжков, И. М. Дзюбук*

ISBN: 978-5-8021-2004-0



9 785802 120040

# Экологическая безопасность сапкового рыбоводства

*А. П. Рыжков, И. М. Дзюбук*

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А. П. Рыжков, И. М. Дзюбук

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
САДКОВОГО РЫБОВОДСТВА**

Петрозаводск  
Издательство ПетрГУ  
2014

УДК 639.3  
ББК 47.2  
Р93

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Петрозаводского государственного университета

Издается в рамках реализации комплекса мероприятий  
Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012—2016 гг.

Р е ц е н з е н т

*Ю. А. Шустов,*

профессор, доктор биологических наук

**Рыжков, Л. П.**

Р93 Экологическая безопасность садкового рыбоводства / Л. П. Рыжков, И. М. Дзюбук. — Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2014. — 98 с.

ISBN 978-5-8021-2004-0

В монографии изложены результаты многолетних исследований влияния садковых хозяйств на водную среду и ее биоту водоемов различного трофического уровня. На примере Кондопожской и Лахтинской губ Онежского озера, озера Сундозеро, озера Коткозеро и реки Суна исследовано влияние садкового хозяйства на некоторые компоненты их экосистем. Установлено, что в основном садковые хозяйства не оказывают негативного влияния на гидрохимические показатели, на качественный состав и количественные показатели фитопланктона и зоопланктона. Выявленные изменения в величине некоторых показателей гидрохимического режима, качественного и количественного состава фитопланктона и зоопланктона не негативные, а предупреждающие о возможной опасности, если будет соблюдаться технология производства. Установлена опасность изменений видового состава и количественных показателей макрозообентоса непосредственно под садками. Предложены соответствующие рекомендации.

Предлагаемая монография может быть полезной для специалистов в области экологии, токсикологии, ихтиологии и аквакультуры, для студентов, аспирантов и всех любителей природы.

УДК 639.3  
ББК 47.2

© Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., 2014

© Петрозаводский государственный университет, 2014

ISBN 978-5-8021-2004-0

# Оглавление

Введение .....	5
Глава 1. Материал и методика .....	10
1.1. Материал .....	10
1.2. Методика .....	11
1.2.1. Гидрохимический анализ .....	11
1.2.2. Гидробиологические исследования .....	12
1.2.3. Воднотоксикологические исследования .....	13
1.2.4. Оценка уровня воздействия садкового хозяйства на водную экосистему. ....	14
Глава 2. Кондопожская губа Онежского озера .....	15
2.1. Гидрохимический режим .....	16
2.2. Фитопланктон .....	18
2.3. Зоопланктон .....	23
2.4. Макрзообентос .....	26
2.5. Биотестирование .....	31
2.6. Рыбы. ....	32
Глава 3. Лахтинская губа Онежского озера .....	34
3.1. Гидрохимический режим .....	35
3.2. Фитопланктон .....	36
3.3. Зоопланктон .....	41
3.4. Макрзообентос .....	45

3.5. Биотестирование .....	49
3.6. Рыбы .....	49
Глава 4. Озеро Сундозеро .....	51
4.1. Гидрохимический режим. ....	51
4.2. Фитопланктон .....	53
4.3. Зоопланктон .....	55
4.4. Макрозообентос .....	58
4.5. Биотестирование. ....	61
4.6. Рыбы .....	62
Глава 5. Озеро Коткозеро .....	63
5.1. Гидрохимический режим .....	63
5.2. Фитопланктон .....	65
5.3. Зоопланктон .....	67
5.4. Макрозообентос .....	67
5.5. Рыбы .....	68
Глава 6. Река Суна .....	70
6.1. Гидрохимические исследования .....	70
6.2. Фитопланктон .....	72
6.3. Зоопланктон .....	73
6.4. Макрозообентос .....	74
6.5. Биотестирование .....	76
6.6. Рыбы .....	77
Заключение .....	78
Список литературы .....	92
Приложения .....	95

## Введение

Во всем мире интенсивно увеличивается использование водных ресурсов для выращивания гидробионтов в контролируемых человеком условиях. Это связано с уменьшением рыбных запасов в водоемах, ухудшением условий естественного воспроизводства рыб и увеличением потребностей населения в качественных продуктах питания.

О темпах этого увеличения можно судить по объемам развития аквакультуры. Если в 1960 г. мировая продукция гидробионтов была на уровне 2 млн. т, то в середине 1990-х гг. ее величина уже достигла 10 млн. т. В настоящее время общий объем аквакультуры превысил 60 млн. т, рыбная продукция занимает в нем около 70 %.

В России в конце прошлого века величина рыбной продукции сократилась в 2 раза и в 2004 г. было выращено всего лишь 109 тыс. т товарной рыбы. В 2011 г. продукция аквакультуры достигла 163 тыс. т. Среднегодовой прирост за это время составил 7,1 %. К 2020 г. предусматривается увеличить объемы аквакультуры до 410 тыс. т. Это вполне реальная задача, так как темпы ее развития в последние годы существенно увеличиваются и отношение государства к аквакультуре изменяется в положительную сторону.

На Европейском Севере России приоритетным и перспективным направлением аквакультуры становится садковое рыбоводство. По экспертным оценкам, его возможности достаточно широки и оцениваются в объеме 55—65 тыс. т рыбной продукции. Этому способствуют обилие разнотипных по продуктивности и абиотическим условиям водоемов, благоприятные климатические условия (длительный световой период во время вегетации, благоприятный температурный режим, большие запасы чистой воды и т. д.), энергообеспеченность, развивающиеся

транспортные системы и близость рынков сбыта, большой спрос на рыбную продукцию, выращенную в садках, у населения и др.

Северо-Западный федеральный округ, наряду с Сибирским и Уральским, располагает наибольшим рыбохозяйственным фондом. Исходя из общей площади рыбохозяйственных водоемов и народонаселения, обеспеченность каждого жителя Северо-Западного федерального округа водоемами, пригодными для развития аквакультуры, составляет 0,46 га. Для сравнения: этот показатель для России равен 0,19 га, для Центрального федерального округа — только 0,02 га (Киселев, Нестеренко, 2006).

Основу рыбохозяйственного фонда Северо-Западного федерального округа составляют водоемы Республики Карелия, пригодные для развития аквакультуры. Учитывая богатство Карелии в таких водоемах, учеными Карельского отделения ГосНИОРХ в середине 1960-х гг. были начаты исследования по их использованию для садкового рыбводства. Затем в течение 20 лет эти исследования были продолжены в СеврыбНИИпроекте, результаты которых позволили разработать теоретические основы садкового рыбводства в естественных водоемах, технологию производства посадочного материала и выращивания товарной рыбы. После производственных испытаний и на основе полученных результатов институт СеврыбНИИпроект рекомендовал организовать выращивание рыбной продукции в садках, размещаемых в природных водоемах.

Интенсивное развитие садкового рыбводства в Карелии началось с 1990-х гг. В это время 17 фермерских хозяйств производили от 500 до 1000 т рыбной продукции. В 2000 г. производство рыбной продукции в садках достигло 1700 т, в 2007 г. — 9300 т, а в 2013 г. его величина составила 23 500 т, что в 8 раз превысило объемы учтенных уловов рыбы во внутренних водоемах республики и составило около 2/3 рыбы, выращиваемой в садковых хозяйствах России. Быстрому наращиванию объемов садкового рыбводства способствовали не только климатические условия Карелии, но и хорошая научная обоснованность этого направления рыбохозяйственной отрасли, наличие технологии производства посадочного материала и товарной рыбы в садках, накопленный практический опыт и новые социально-экономические условия.

Потенциал и возможности для дальнейшего развития садковой аквакультуры в Карелии значительны. Экологическая емкость внутренних

водоемов республики позволяет производить в перспективе до 25—30 тыс. т качественной рыбной продукции.

Наращивание объемов производства рыбной продукции в садках, даже при соблюдении всех требований нормативных документов по обеспечению экологической безопасности водных экосистем, несомненно, сказывается на их состоянии. При выращивании рыбы в водоемы поступают остатки корма, экскременты, конечные продукты метаболизма. По результатам наших исследований, потери от заданного рыбам корма составляют не менее 5 %, от потребленного корма 20 % составляют экскременты и 15 % — конечные продукты метаболизма, содержащие фосфорные, азотистые и другие органические соединения. Дополнительное поступление от аквакультуры, в частности от садкового рыбоводства, в водные экосистемы органических веществ может способствовать ускорению в них процессов эвтрофикации. Это, в свою очередь, отразится на видовом составе, численности и биомассе гидробионтов, на их физиологической активности и в целом на биологической структуре сообществ. При этом учитывается, что северные водоемы геологически молодые и легко подвергаются любому воздействию. Этому способствует также достаточно медленная трансформация органических веществ.

При современном уровне развития садкового рыбоводства, соблюдении технологии и экологических требований эксплуатации садковых рыбоводных хозяйств естественные процессы самоочищения и самовосстановления в водных экосистемах нейтрализуют дополнительное поступление органики в водную среду. При этом следует учитывать, что общий вклад рыбоводных хозяйств на функционирование водных экосистем незначителен по сравнению с другими источниками загрязнения (Fitalgo, 2003; Demirak, 2006). Примером этого может быть Карелия. В 2011 г. с различными стоками в поверхностные воды республики поступило 4772 т соединений азота и 198 т соединений фосфора (Гос. доклад..., 2012). От выращенной в садках рыбы эти величины равнялись 928 и 106 т соответственно. По нашим данным, влияние садковых хозяйств, размещенных в озерах, в настоящее время не проявляется на расстоянии более 100 м. По данным других авторов, воздействия садковых хозяйств локальны и практически не отмечаются на расстоянии более 30 м (Helminen, 2003).

При дальнейшем развитии аквакультуры, в том числе садкового рыбоводства, воздействие на окружающую среду этого направления рыбохо-

зяйственной отрасли будет усиливаться и может привести к весьма сложным ситуациям в состоянии водных экосистем. Результатом возможных изменений в структуре водных экосистем Севера станут не только экологические, но и экономические проблемы. Государственная экологическая экспертиза, проводимая при проектировании форелевых хозяйств, и ведомственный контроль за качеством воды при их функционировании не могут решить многие проблемы сохранения природных водных и наземных экосистем. Такие проблемы решаются лишь на основании материалов многолетнего экологического мониторинга, регулярное выполнение программы которого позволяет систематически получать достоверные данные о химическом составе вод, состоянии гидробионтов и их биоресурсов, токсикологических параметрах водной среды в районе функционирования форелевых хозяйств. Полученные результаты позволяют не только оценить качество водной среды в конкретное время, но и прогнозировать возможные изменения водных экосистем при различных мощностях форелевых хозяйств. Поэтому результаты экологического мониторинга особенно необходимы для директивных и других государственных органов при планировании объемов развития садковой аквакультуры и размещения садковых хозяйств в каждом конкретном регионе с учетом его социально-экономического развития.

В связи с этим возникает необходимость изучить пути воздействия хозяйств на окружающую среду, апробировать методы исследования уровня этого воздействия и определить основные пути их минимизации.

Целью настоящего исследования было оценить состояние водных экосистем в условиях функционирования садковых форелевых хозяйств, проследить пути этого воздействия, определить его уровень и предложить способы его минимизации.

В соответствии с целью исследования предполагалось решить следующие задачи:

- определить динамику гидрохимических показателей вод при функционировании садковых рыбоводных хозяйств;
- проследить динамику формирования качественного и количественного состава фитопланктона при функционировании садковых рыбоводных хозяйств;
- изучить динамику формирования качественного и количественного состава зоопланктона при функционировании садковых рыбоводных хозяйств;

- исследовать динамику качественного и количественного состава донной фауны при функционировании садковых рыбоводных хозяйств;
- дать оценку состояния качества водной среды в районе садковых хозяйств на основе биотестирования;
- изучить взаимодействие садковых рыбоводных хозяйств с качественным и количественным составом местных видов рыб.

# Глава 1. Материал и методика

Учитывая важность проблемы сохранения экологической безопасности и рационального использования биологических ресурсов водоемов Республики Карелия, лаборатория экологических проблем Севера Петрозаводского государственного университета с 2004 г. осуществляет комплексный экологический мониторинг на ряде водоемов Карелии, на которых размещены садковые рыбоводные хозяйства: Онежском озере (Кондопожская и Лахтинская губы), озерах Сундозеро и Коткозеро, а также реке Суна.

## 1.1. Материал

Материалом для исследования служили регулярно отбираемые в летний период (в июле) пробы воды, фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса непосредственно у садков и на различном от них расстоянии. При отборе проб регулярно велось наблюдение за размещением местных видов рыб в зоне влияния садков на окружающую среду, периодически проводились контрольные обловы акватории водоема.

В *Кондопожской губе Онежского озера* исследовалось влияние на водную среду и ее биоресурсы садкового хозяйства, функционирующего с 1989 г. Расположено оно в 25 км от вершины губы между островами с глубинами более 10 м. Объем выращиваемой товарной продукции во время эксплуатации хозяйства колебался в пределах от 100 до 450 т.

Всего в Кондопожской губе функционирует 5 садковых форелевых хозяйств различной мощности (150—450 т), размещенных в сторону открытого водоема.

В *Лахтинской губе Онежского озера* форелевое хозяйство функционировало с 1996 по 2006 г. Садки размещались в прибрежной зоне на глубине

6—10 м. Объемы выращивания рыбной продукции доходили до 300 т/год. В 2006 г. хозяйство полностью прекратило свою деятельность, но мониторинг был продолжен, т. к. представляло интерес исследовать возможные последствия его деятельности на водную среду и биоресурсы.

На *Сундозере* садковое хозяйство было создано в 1989 г. (в 1997 г. вошло в состав ООО «Кивач»). Объем выращиваемой рыбы колеблется в пределах 250 т/год. Садки с рыбной продукцией ежегодно перемещаются по акватории водоема, что способствует равномерному распределению органических отходов производства по площади водоема и минимизирует его загрязнение.

На *Коткозере* садковая ферма начала функционировать с 2003 г. Садки размещены в открытом водоеме на глубине 6—10 м. Общий объем выращивания товарной рыбной продукции около 200 т/год.

На *реке Суна* выращивание рыбной продукции в садках осуществляется более 15 лет. В первые годы существования в хозяйстве в основном выращивалась радужная форель. В последние 5 лет произошла переориентация хозяйства на выращивание осетровых рыб. В основном выращивается ленский осётр. Пока его объемы незначительны и колеблются в пределах нескольких десятков тонн.

## 1.2. Методика

Пробы для гидрохимического, биологического и токсикологического анализов отбирались в каждом хозяйстве в июле на постоянных станциях, расположенных непосредственно в зоне размещения садков, на расстоянии 100 м от садков и на расстоянии 500 м (контроль). Исследовались качество водной среды по гидрохимическим и токсикологическим показателям, качественный и количественный состав фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса. Определялся видовой и количественный состав местных рыб в зоне влияния садкового хозяйства.

### 1.2.1. Гидрохимический анализ

Анализы по определению химического состава воды выполнялись по стандартным методикам (Алекин, 1973; Семенов, 1977; Новиков, 1990). Регистрировались следующие гидрохимические показатели: величина рН, содержание растворенного в воде кислорода, цветность, перманганатная окисляемость (ПО), биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>), формы минерального азота (аммонийный, нитритный, нитратный) и фосфор (минеральный и общий).

Полученные показатели гидрохимического состава озерных вод сравнивались с установленными государственными нормативами (ПДКр/х) для водоемов рыбохозяйственного назначения (Бессонов, Привезенцев, 1987; Перечень ПДК и ОБУВ..., 1999). Всего на гидрохимический анализ отобрано 540 интегральных проб, проведено 10 800 анализов.

### 1.2.2. Гидробиологические исследования

*Фитопланктон.* Сбор и обработка проб проводились по общепринятой методике (Кузьмин, 1975). Пробы объемом 1 л отбирали батометром Рутнера со стандартных горизонтов, а также интегрированные по глубине. Количественные пробы просчитывали в камере Нажотта объемом 0,01 мл в двух повторностях. Все встреченные клетки измерялись, вычислялся их объем. Биомасса фитопланктона определялась расчетным способом (Федоров, 1979), удельная масса клетки принималась равной 1 г/м<sup>3</sup>.

Для расчета индексов сапробности использовались уточненные списки индикаторных видов (Макрушин, 1974). При определении качества воды пользовались литературными данными (Руководство по методам..., 1983).

*Зоопланктон.* Пробы зоопланктона отбирались малой сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см (газ № 55), затем фиксировались формалином до концентрации 4 % в пробе. Камеральная обработка проб проводилась по общепринятой методике (Жадин, 1960; Методика изучения..., 1975; Кожова, Мельник, 1978). При определении биомассы зоопланктона использовались индивидуальные веса организмов, рассчитанные по формуле соотношения между массой и длиной тела особи (Балушкина, Винберг, 1979). Оценка степени загрязнения вод проводилась по индексам сапробности (Макрушин, 1974; Куликова, 1983). Класс качества воды оценивался по классификации В. П. Абакумова (Руководство по методам..., 1983).

*Зообентос.* Для отбора количественных проб зообентоса использовался дночерпатель Экмана — Берджа (площадь захвата 0,025 м<sup>2</sup>). Отбранные пробы промывались через сито с газом № 35—38 и фиксировались формалином до концентрации 4 % в пробе.

Камеральная обработка собранного материала проводилась по общепринятым методикам (Жадин, 1960; Методика изучения..., 1975). Качество воды оценивалось по индексам сапробности (Макрушин, 1974; Оценка качества..., 1988).

*Рыбы.* Ихтиологический материал в районе садков отлавливался при помощи ставных сетей разной ячеи и на удочку. Обработка материала осуществлялась по общепринятым методикам (Правдин, 1966; Смирнов и др., 1972). Исследовали возрастной, половой и размерно-весовой состав рыб в уловах, а также индексы внутренних органов ерша как биоиндикатора среды.

### 1.2.3. Воднотоксикологические исследования

Оценка токсичности воды озер и реки в районе форелевых хозяйств проводилась в соответствии с методическими рекомендациями по биотестированию (Методическое руководство..., 1990; Жмур, 2001; Руководство по определению..., 2002). В качестве индикаторного вида использовалась стандартизированная для водной токсикологии культура ветвистоусых рачков *Daphnia magna Straus*. Мониторинговые исследования проб озерной воды проводились при кратковременном (96 час.) и длительном (20 сут.) тестировании. Плотность посадки рачков в острых опытах — 10 экз. на 100 мл, в хронических — 7 экз. на 300 мл среды. Эксперименты выполнены в трех повторностях. Кормом для дафний служили одноклеточные зеленые водоросли *Scenedesmus*, выращенные по стандартной методике (Хоботьев, Капков, 1971). Пробы озерной воды перед тестированием фильтровались через бумажный фильтр. В качестве контрольной и разбавляющей использовалась дехлорированная водопроводная вода. Опыты проводились при температуре 20—22 °С, пробы воды исследовались как в нативном (неразбавленном) виде, так и при разбавлении до 8-кратного включительно. Замена растворов в опытах на свежеприготовленные проводилась регулярно.

Показателем острой токсичности служила гибель 50 % и более подопытных организмов. Критерием хронической токсичности считалось снижение выживаемости на 20 % и более от контрольного уровня, а также статистически достоверное отклонение от контроля линейных размеров и плодовитости рачков. Дополнительно проводился полный биологический анализ подопытных организмов по системе Л. А. Лесникова: учитывались состояние пищеварительной системы дафний, окраска тела, накопление жировых веществ, нарушения в процессе эмбриогенеза (Лесников, 1971). Степень токсичности вод устанавливалась согласно модифицированному классификатору (Гольд, Глуценко, 2003).

Полученный цифровой материал был обработан статистически (Ивантер, Коросов, 1992, 2003). Степень достоверности отклонений количе-

ственных показателей относительно контроля оценивалась по критерию Стьюдента при уровне значимости  $\leq 0,05$ .

Всего на дафниях проведено 75 опытов с использованием более 500 тест-организмов.

#### 1.2.4. Оценка уровня воздействия садкового хозяйства на водную экосистему

Для оценки уровня воздействия садковых хозяйств на водные экосистемы использовался запатентованный способ определения соотношения (индекс С) абсолютных показателей в зоне садков и в контроле (Рыжков, 2012). Сущность его заключается в следующем:

- устанавливается место контрольной станции на расстоянии не менее 500 м от хозяйства, где его влияние полностью отсутствует (контроль);
- определяется место отбора проб непосредственно в садковом хозяйстве (источник загрязнения);
- отбираются пробы воды и гидробионтов в различных ее слоях (поверхность — дно) в районе источника загрязнения и в контроле;
- с использованием соответствующих методик определяются количественные показатели исследуемых компонентов водной экосистемы (гидрохимические показатели, численность и биомасса фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса);
- вычисляются соотношения (индексы С) между количественными показателями исследуемых компонентов в источнике загрязнения и контроле;
- по эталонной таблице определяется уровень воздействия садкового хозяйства на водную экосистему.

В эталонной таблице приведены допустимые величины индексов для каждого уровня воздействия. В частности, при величине индекса 0,8—1,3 негативное воздействие отсутствует (норма), при 0,8—0,5 — наличие воздействия, при 1,3—1,8 — слабое воздействие, при 1,8—2,3 — среднее воздействие и при  $< 0,5$  и  $> 2,3$  — опасно.

## Глава 2. Кондопожская губа Онежского озера

Кондопожская губа — один из крупнейших заливов Онежского озера, глубоко врезаемый в сушу и достаточно изолированный от центрального плеса. Площадь акватории 223 км<sup>2</sup>. Общая длина губы около 32 км, максимальная ширина 8 км. Объем водных масс 4,68 км<sup>3</sup>. Средняя глубина 21 м, КУВ — 1,93. Водообмен в губе обеспечивается за счет озерно-речного стока реки Суна и Нигозерского канала. Берега скалистые. Отвесные скалы высотой до 40 м обрываются в озеро. Дно неровное с множеством луд и островов, нередко разделяемых глубокими впадинами. У отвесных скалистых берегов впадины достигают глубины 40—70 м. Редкие отмели в верхней части губы обычно переходят в заболоченные участки с кустарниковой растительностью (Онежское озеро, 1999).

Химический состав вод и их биотический баланс в Кондопожской губе формируются озерными водами прилегающих участков центрального плеса Онежского озера, поверхностным стоком реки Суна, а также атмосферными осадками и сточными водами Кондопожского промузла. Сток промузла в основном (до 90 %) представлен сточными водами Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). Под воздействием стоков к 80-м гг. XX в. вершинная часть Кондопожской губы постепенно превратилась в мезотрофный водоем с соответствующей экосистемой. Признаки мезотрофии начали проявляться и в более удаленных от комбината участках губы. В настоящее время влияние стоков распространяется до 15—20 км от выброса (Биоресурсы Онежского озера, 2008). В районах размещения садковых хозяйств, благодаря воздействию вод открытой части Онежского озера, влияние стоков Кондопожского промузла, в том числе ЦБК, практически отсутствует. Это

дает основание для выявления роли форелевых хозяйств в формировании биостатуса открытой части губы.

## 2.1. Гидрохимический режим

Вершинная часть губы подвергается сильному воздействию промышленных и бытовых стоков. Ежегодно в губу поступает до 50 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, несущих до 60—65 т общего фосфора, до 150—170 т общего азота и до 7000 т лабильной органики. Выносятся большое количество лигносульфонатов. Их содержание в вершинной части губы достигает 1,45 мг/л. Через 10 км от сброса сточных вод их количество снижается до 0,04 мг/л. По средним многолетним данным, минерализация вод Кондопожской губы равняется 35,1 мг/л, величина ПО — 9,2 мгО/л, БПК<sub>5</sub> — 1,4 мгО<sub>2</sub>/л, Р<sub>общ.</sub> — 0,018 мгР/л и N<sub>общ.</sub> — 0,75 мгN/л (Онежское озеро, 1999). В последние годы минерализация вод практически не изменилась (33,8 мг/л). Величина ПО колеблется в пределах 13—18 мгО/л, БПК<sub>5</sub> — 1,2—1,4 мгО<sub>2</sub>/л, Р<sub>общ.</sub> — 0,018—0,022 мгР/л, N<sub>общ.</sub> — 0,58—0,67 мгN/л.

Многолетние исследования гидрохимического состава вод губы показали, что их химический состав в основном определяется переносом и трансформацией вод вершинной части губы, испытывающих сильную антропогенную нагрузку, и обильным озерно-речным стоком чистых вод. О роли форелевых хозяйств в формировании гидрохимического режима вод губы в литературе сведения отсутствуют.

Выполненные в период с 2006 по 2012 г. в лаборатории экологических проблем Севера Петрозаводского государственного университета исследования показали, что динамика гидрохимических показателей водной среды непосредственно в зоне размещения садков и в контроле сохраняется достаточно стабильной. Величина РН колеблется в пределах 6,90—7,35, содержание кислорода благоприятное (7,0—9,2 мг/л), цветность воды в норме (50—90 град.). Минерализация вод сохраняется на уровне 32—35 мг/л. Негативное воздействие садкового хозяйства на эти гидрохимические показатели отсутствует.

О возможности воздействия садкового хозяйства на содержание органических веществ можно судить по материалам, приведенным в таблице 1. Анализируя материалы, прежде всего, необходимо отметить, что на протяжении семи лет исследований нами не обнаружено стойкого накопления органических веществ непосредственно в зоне садков. Конечно, в разные годы происходят изменения в количественных показателях, но эти изменения четко сочетаются с контролем, т. е. являются

естественными. Например, величина ПО в 2009 г. по сравнению с 2006 г. и в контроле, и в садках возросла в 1,2 раза. В 2012 г. ее величина вновь сократилась до исходного значения. Показатель БПК<sub>5</sub>, несмотря на увеличение в 2009 г., в 2012 г. сократился по сравнению с 2006 г. Аналогичная ситуация наблюдается и в динамике других исследованных компонентов органического вещества.

Таблица 1

**Содержание некоторых компонентов органического вещества в воде у садков в летний период (Отчеты о НИР, 2006, 2009, 2012)**

Годы	Станции	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	NH <sub>4</sub> , мгN/л	NO <sub>2</sub> , мгN/л	NO <sub>3</sub> , мгN/л	P <sub>мин</sub> , мгP/л	P <sub>общ</sub> , мгP/л
2006	Садки	<u>11,7</u>	<u>1,33</u>	<u>0,26</u>	<u>0,003</u>	<u>0,17</u>	<u>0,010</u>	<u>0,014</u>
		11,5	1,82	0,28	0,004	0,20	0,015	0,034
	Контроль	<u>11,2</u>	<u>1,19</u>	<u>0,20</u>	<u>0,003</u>	<u>0,14</u>	<u>0,012</u>	<u>0,016</u>
11,4		1,72	0,26	0,003	0,23	0,018	0,030	
	Индекс С	<u>1,04</u>	<u>1,12</u>	<u>1,30</u>	<u>1,00</u>	<u>1,21</u>	<u>0,83</u>	<u>0,87</u>
		1,01	1,06	1,08	1,30	0,87	0,83	1,13
2009	Садки	<u>14,8</u>	<u>2,42</u>	<u>0,24</u>	<u>0,006</u>	<u>0,26</u>	<u>0,008</u>	<u>0,028</u>
		12,0	2,03	0,32	0,005	0,23	0,010	0,032
	Контроль	<u>14,4</u>	<u>1,64</u>	<u>0,23</u>	<u>0,005</u>	<u>0,20</u>	<u>0,007</u>	<u>0,022</u>
12,3		1,56	0,23	0,004	0,18	0,008	0,026	
	Индекс С	<u>1,03</u>	<u>1,48</u>	<u>1,04</u>	<u>1,2</u>	<u>1,30</u>	<u>1,14</u>	<u>1,27</u>
		0,98	1,30	1,39	1,25	1,28	1,25	1,23
2012	Садки	<u>11,6</u>	<u>1,18</u>	<u>0,22</u>	<u>0,003</u>	<u>0,14</u>	<u>0,005</u>	<u>0,020</u>
		11,9	1,48	0,18	0,004	0,26	0,015	0,024
	Контроль	<u>11,2</u>	<u>1,24</u>	<u>0,18</u>	<u>0,003</u>	<u>0,12</u>	<u>0,006</u>	<u>0,017</u>
10,9		1,32	0,16	0,003	0,19	0,016	0,022	
	Индекс С	<u>1,04</u>	<u>0,95</u>	<u>1,22</u>	<u>1,00</u>	<u>1,17</u>	<u>0,83</u>	<u>1,18</u>
		1,09	1,12	1,12	1,33	1,37	0,94	1,09

Примечание: в числителе сведения о поверхностных водах, в знаменателе — о придонных водах.

Однако это не значит, что садковое хозяйство не оказывает никакого влияния на водную среду в районе его действия. Например, в 2009 г. одновременно с увеличением показателя БПК<sub>5</sub> изменилось соотношение его величин между садками и контролем в поверхностном слое воды. Индекс С достиг величины 1,48, что, согласно эталонной таблице уровней воздействия (Рыжков, 2012), свидетельствует о наличии слабого воздействия хозяйства на содержание биохимически лабильных ор-

ганических веществ. Это согласуется с выявленными в этом же году незначительными отклонениями от контроля показателей в содержании аммонийного азота в придонных слоях воды. Вычисленная величина индекса С (1,39) дает основание также допустить слабое воздействие хозяйства на данный компонент органики. Этому могли способствовать благоприятные температурные условия. На поверхности воды температура колебалась в пределах 15—18 °С, поэтому выращиваемая рыба в основном держалась ближе к ее поверхности, примерно в пределах первых 1,0—2,0 м. Следовательно, конечные продукты метаболизма рыб (жидкие выделения) концентрировались ближе к поверхности, а твердые остатки корма и экскременты — у дна. В 2012 г. отмечено слабое воздействие хозяйства на содержание нитритов и нитратов в придонных слоях воды непосредственно под садками. Величина индекса С была 1,33 и 1,37 соответственно. Причин возникновения данного явления много. Это, прежде всего, увеличение объемов производства рыбной продукции (почти в 1,5 раза), изменения в технологии раздачи кормов, благоприятный температурный режим, изменения в соотношении процессов нитрификации и денитрификации.

Таким образом, несмотря на колебания величин исследованных показателей содержания органического вещества и даже слабое воздействие хозяйства на отдельные его компоненты, сохранение на протяжении семи лет общей стабильности в содержании органики является свидетельством отсутствия негативных воздействий садковой аквакультуры на окружающую водную среду. Поступающие от садкового хозяйства органические вещества (остатки корма, экскременты, конечные продукты метаболизма) полностью трансформируются за счет природных возможностей функционирующей водной экосистемы.

## 2.2. Фитопланктон

Фитопланктон эвтрофирующейся Кондопожской губы характеризуется большим видовым разнообразием. Наибольшее развитие, особенно в вершинной части губы, получили представители *Aulacosira* (до 7 млн. кл./л), *Oscillatoria* (до 1 млн. кл./л), *Diatoma* (до 800 тыс. кл./л) и др. Минимальное развитие наблюдалось у *Dynobryum* (< 100 тыс. кл./л). Максимальная биомасса отмечена в конце прошлого века, достигавшая величины 17,97 г/м<sup>3</sup> при численности 4003 тыс. кл./л. Средняя многолетняя численность фитопланктона в губе летом равняется 2405 тыс. кл./л при биомассе 2,30 г/м<sup>3</sup>. Многими исследователями отмечалось увеличение количе-

ственных показателей развития водорослей по направлению к вершинной части губы, куда в основном поступают промышленные и городские сточные воды. Следствием же увеличения количественных показателей первичной продукции (фитопланктона) может быть начало эвтрофикации водоема (Онежское озеро, 1999; Биоресурсы Онежского озера, 2008).

В настоящее время флористически фитопланктон Кондопожской губы характеризуется как диатомовый, типичный для бореальной зоны. Массовыми видами являются: *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira italica* var, *Aulacoseira alpigena*, *Tabellaria fenestrata*, *Tabellaria flocculosa*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis* Kitt, *Diatoma elongatum*, *Nitzschia acicularis*, *Synedra acus* Kutz, а также ряд видов из родов *Navicula*, *Stephanodiscus*, *Nitzschia*, *Cyclotella*, *Eunotia*, *Navicula*. В меньшем количестве представлены синезеленые и, особенно, зеленые водоросли.

Судя по материалам контрольной станции (природные условия), которая размещалась в центре губы, уровень количественного развития водорослей в исследуемый период был достаточно стабильным (рис. 1,2; приложение 1). Численность водорослей колебалась в пределах 1100—2000 тыс. кл./л, а биомасса — от 1,2 до 2,5 г/м<sup>3</sup>. Существенное увеличение количественных показателей фитопланктона отмечено в 2012 г. В этом году численность фитопланктона достигла величины 1905 тыс. кл./л, а биомасса — 2,3 г/м<sup>3</sup>. Увеличение численности и биомассы фитопланктона в Кондопожской губе в 2012 г. может быть обусловлено обилием осадков и, следовательно, увеличенным поверхностным стоком, несущим в губу массу органических компонентов.

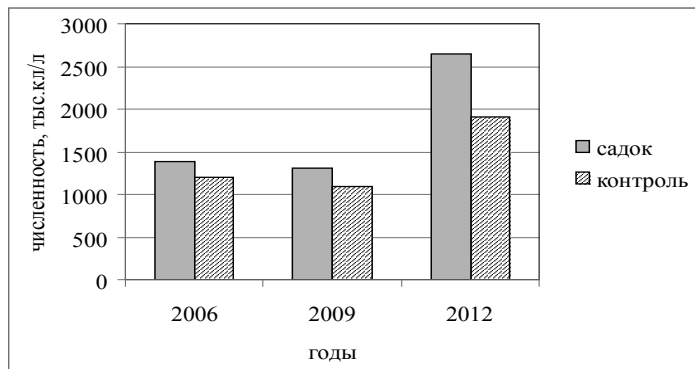


Рис. 1. Численность фитопланктона Кондопожской губы в летний период

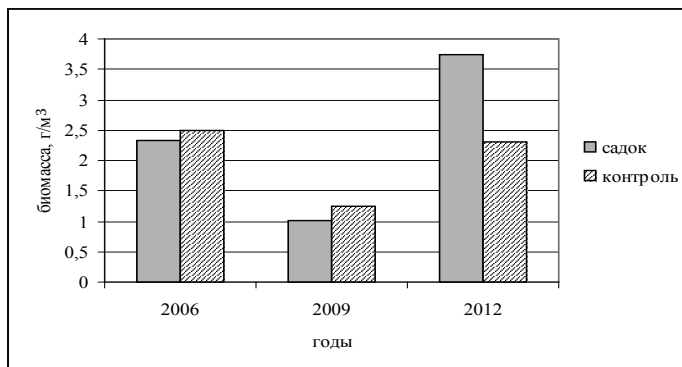


Рис. 2. Биомасса фитопланктона Кондопожской губы

Об уровне воздействия садкового хозяйства на фитопланктон можно судить по величине индекса воздействия С (рис. 3; приложение 1). В 2006 г. величина индекса С изменялась в пределах биологической нормы (С по численности 1,15, по биомассе 0,94), т. е. негативное воздействие хозяйства на водную экосистему отсутствовало. Это подтверждается величинами индексов сапробности, которые в контроле и у садков были одинаковыми (1,8) (рис. 4).

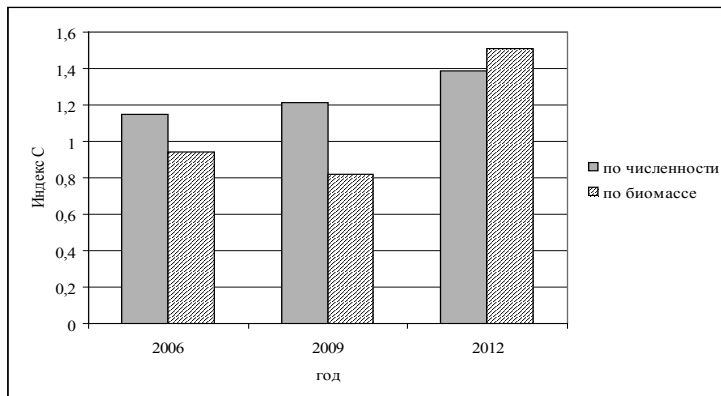


Рис. 3. Индекс С по численности и биомассе фитопланктона Кондопожской губы в районе садков

К 2009 г. численность фитопланктона практически не изменилась (контроль — 1088 млн. кл./л, садки — 1313 млн. кл./л), биомасса же суще-

ственно сократилась (контроль — 1,24 г/м<sup>3</sup>, садки — 1,02 г/м<sup>3</sup>). Особенно значительно сократилась биомасса фитопланктона в районе садков (в 2,3 раза). В контроле отмеченное сокращение биомассы равнялось двум (рис 1, 2; приложение 1). Очевидно, продолжалось развитие более мелких форм фитопланктона. Доминирующей группой в это время были диатомовые водоросли, массовыми видами являлись *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira italica var. tenuissima*, *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella Formosa*. Среди золотистых отмечены *Kephirion cupuliformes*, *Dinobryon sociale* и *Dinobryon divergens*. Из пиррофитовых зарегистрирован *Glenodinium quadridens*, зеленые были представлены *Ankistrodesmus arcuatus*.

Негативное воздействие хозяйства на водную экосистему по-прежнему отсутствовало. Индекс С по численности увеличился до 1,21, а по биомассе сократился до 0,82 (рис. 3; приложение 1). Индексы сапробности равнялись 1,7 (рис. 4).

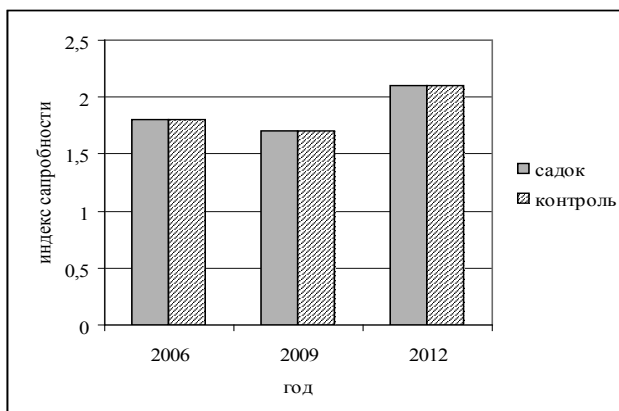


Рис. 4. Индекс сапробности по фитопланктону Кондопожской губы в районе садков

В 2012 г. фитопланктон был представлен в основном диатомовыми, золотистыми и синезелеными водорослями. Среди диатомовых доминировали *Aulacoseira islandica*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira italica var. alpigena*, *Tabellaria fenestrata*, *Tabellaria flocculosa*, *Asterionella formosa*, *Diatoma elongatum*, *Nitzschia acicularis*. Золотистые были представлены *Dinobryon sociale* и *Dinobryon divergens*, синезеленые — *Anabaena lemmermanii*.

Как уже отмечалось выше, количественные показатели фитопланктона существенно возросли (рис. 1, 2; приложение 1). Численность в контроле по сравнению с 2009 г. увеличилась в 1,8 раза, а биомасса — в 1,9 раза. Аналогичные изменения произошли в количественных показателях фитопланктона у садков. Численность возросла в 2 и биомасса — в 3,7 раза. В 2012 г. впервые отмечено умеренное влияние садкового хозяйства на окружающую водную среду и биоту (рис. 3; приложение 1). Величина индекса С по численности и биомассе существенно увеличилась (1,39 и 1,51 соответственно). Согласно эталонной таблице, это воздействие можно оценивать ближе к уровню умеренного. Усиление воздействия садкового хозяйства на водоросли, вероятно, является следствием увеличения содержания лабильной органики (БПК<sub>5</sub>), минерального фосфора (табл. 1) и нитратов, содержание которых в природных условиях лимитирует развитие фитопланктона. Следует отметить, что статус водоема, судя по величине индексов сапробности (2.1), сохранился в благоприятном интервале (рис. 4).

О наличии связи между количественными показателями фитопланктона и содержанием органических компонентов и биогенных элементов можно судить по величинам коэффициентов корреляции (табл. 2).

Таблица 2

**Корреляции между гидрохимическими показателями и параметрами фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера (садки)**

<i>Параметры</i>	<i>ПО, мгО/л</i>	<i>БПК<sub>5</sub>, мгО<sub>2</sub>/л</i>	<i>NH<sub>4</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>2</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>3</sub>, мгN/л</i>	<i>P<sub>мин</sub>, мгP/л</i>
Численность, тыс. кл./л	<u>0,56</u> 0,28	<u>0,63</u> 0,94	<u>0,84</u> 0,97	<u>0,54</u> 0,54	<u>0,73</u> 0,84	<u>0,90</u> 0,54
Биомасса, г/м <sup>3</sup>	<u>0,87</u> 0,17	<u>0,91</u> 0,99	<u>0,52</u> 0,98	<u>0,85</u> 0,85	<u>0,95</u> 0,52	<u>0,61</u> 0,85

Примечание: числитель — поверхность, знаменатель — придонный слой.

И в поверхностном, и в придонном слоях воды корреляционная зависимость между органическими компонентами и количественными показателями фитопланктона выражена достаточно четко. Коэффициент корреляции по численности и биомассе фитопланктона не был менее 0,52. Исключение составили легко окисляемые вещества (ПО) в придонных слоях воды. На это явление мы уже обращали внимание, при благоприятной температуре воды (15—17 °С) выращиваемые рыбы в ос-

новном концентрируются в поверхностном слое, в который и выделяются конечные продукты их метаболизма.

Следовательно, анализ материалов исследования достаточно убедительно показал, что динамика качественного состава и количественных показателей водорослей в Кондопожской губе Онежского озера в основном определяется природными факторами и антропогенным воздействием Кондопожского промузла. Значение садковых хозяйств в формировании трофического статуса водоема незначительно. Отмеченные воздействия исследованного хозяйства на водную среду и ее биоту не относятся к категории опасных.

### 2.3. Зоопланктон

На протяжении многих лет зоопланктон Кондопожской губы в видовом отношении сохранял свою однородность и в основном был представлен видами из групп *Rotatoria*, *Cladocera* и *Copepoda*. В конце прошлого века средняя численность зоопланктона была 57,9 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомасса — 0,281 г/м<sup>3</sup> (Онежское озеро, 1999).

В районе исследованного нами садкового хозяйства качественный состав зоопланктона в период исследований изменялся от 32 до 40 видов. В 2006 г. было выявлено 40 видов, в 2009 г. — 32 вида и в 2012 г. — 37 видов. Во все годы среди них превалировала по количеству видов *Rotatoria* (38—52 %). Несколько меньшее видовое разнообразие отмечено у представителей *Cladocera* (28—46 %) и *Copepoda* (20—34 %). Доминирующий комплекс: *Notolca caudata*, *Kellicottia longispina*, *Polyarthra dolichoptera*, *Keratella cochlearis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Bosmina obtusirostris*, *B. crassicornis*. В последние годы численность зоопланктона в среднем составляет 40,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, средняя биомасса — 0,51 г/м<sup>3</sup>. Отмечены сезонные изменения видового состава, численности и биомассы зоопланктона.

В период исследования максимальная численность и биомасса зоопланктона были отмечены в 2006 г. (рис. 5, 6; приложение 2). В контроле численность зоопланктона достигла величины 250,3 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса — 1,23 г/м<sup>3</sup>. В районе садков отмечено уменьшение численности зоопланктона (до 189,6 тыс. экз./м<sup>3</sup>), а биомасса, наоборот, увеличилась до 1,53 г/м<sup>3</sup>. Это может быть связано с изменением видового состава. Например, в контроле представители группы *Rotatoria* по численности составляли 80,1 %, а в зоне садков — 70,8 %, по биомассе эти величины были

36,9 % и 62,1 % соответственно. Доминирующий комплекс в это время был представлен *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*. Среди других представителей зоопланктона доминировали *Daphnia cristata* и *Bosmina obtusirostris*. При этом наблюдались четкие различия в численности и биомассе между контролем и садками. Например, если *Cladocera* в контроле занимали по численности 12,6 % и по биомассе — 39,8 %, то у садков эти показатели соответственно были 24,2 % и 26,1 %. Однако, судя по показателям индекса С, очень слабое воздействие садкового хозяйства отмечено лишь на численность зоопланктона, индекс С меньше 0,80 (рис. 7).

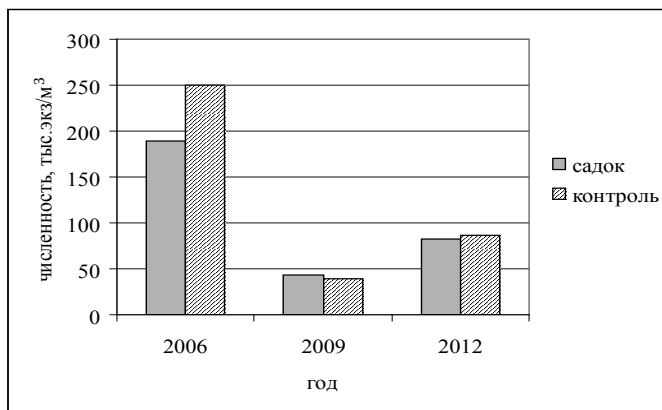


Рис. 5. Численность зоопланктона Кондопожской губы, лето

В 2009 г. количественные показатели зоопланктона существенно сократились (рис. 5, 6). В контроле численность зоопланктона равнялась 39,6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомасса — 0,53 г/м<sup>3</sup>. В зоне садков они были соответственно 43,6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,47 г/м<sup>3</sup>, практически не отличаясь от контроля. Негативное воздействие хозяйства на зоопланктон полностью отсутствовало (см. рис. 7). Величина индекса С не выходит за пределы оптимума. По-прежнему в составе зоопланктона преобладала группа *Rotatoria*, которая по численности составляла 85,7 % (в контроле) и 85,4 % (у садков). Доля биомассы в контроле (58,5 %) оказалась значительно ниже по сравнению с садками (70,2 %). Среди других групп преобладали *Copepoda* (численность в контроле 10,5 %, у садков 9,6 %; соответственно биомасса 37,7 % и 23,4 %). Несколько изменился состав доминирующего комплекса зоопланктона, который в зоне садков был представлен *Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta*

*grandis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Limnocalanus macrurus* и *Bosmina obtusirostris*.

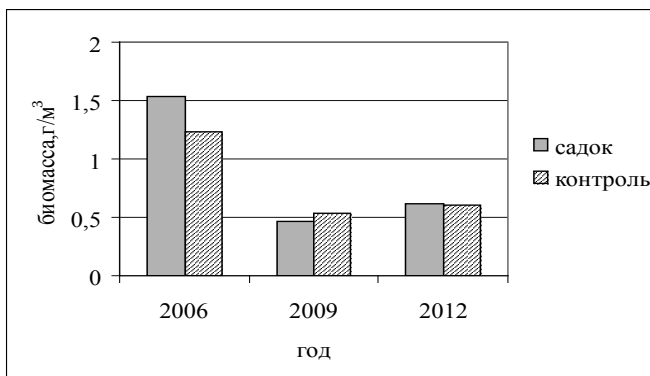


Рис. 6. Биомасса зоопланктона Кондопожской губы, лето

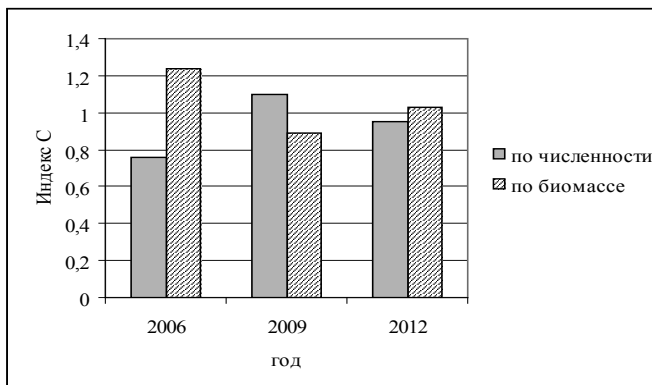


Рис. 7. Индекс С по численности и биомассе зоопланктона Кондопожской губы

К 2012 году количественные показатели зоопланктона несколько увеличились. Его численность к этому году в контроле возросла до 86,7 тыс. экз./м<sup>3</sup> и у садков — до 82,3 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Отмечено также увеличение общей биомассы зоопланктеров: в контроле — до 0,60 г/м<sup>3</sup> и у садков — до 0,62 г/м<sup>3</sup>. Существенных различий в количественных показателях зоопланктона между контролем и садками не обнаружено. Доля группы *Rotatoria* несколько сократилась: по численности она колебалась от 63,6 % (садки) до

68,3 % (контроль) и соответственно по биомассе — от 37,1 до 33,3 %. В то же время существенно возросла доля группы *Cladocera*: по численности — до 17,7 %, по биомассе — до 35,5 %.

Доминирующая группа зоопланктона в районе садков была представлена следующими видами: *Notolca caudata*, *Kellicottia longispina*, *Polyarthra dolichoptera*, *Keratella cochlearis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Bosmina obtusirostris*, *B. crassicornis*.

Соотношение же количественных показателей представителей зоопланктона существенно изменялось. Если *Rotatoria* в 2006 г. по численности составляла 70,8 %, то в 2009 г. этот показатель возрос до 85,4 %, а в 2012 г. сократился до 63,5 %. Соответствующие изменения наблюдались в численности *Copepoda* (5,1—9,6—18,7 %) и *Cladocera* (24,2—5,1—17,7 %). Аналогичная динамика количественных показателей отмечена в контрольных пробах, что является свидетельством природных явлений, а не воздействия садковых хозяйств.

При рассмотрении взаимодействия между фитопланктоном и зоопланктоном нами не установлено прямой связи между этими группами организмов. Вычисленный коэффициент корреляции между количественными показателями оказался по численности равным 0,22 и по биомассе — 0,11. Это вполне закономерно, так как взаимодействие между исследуемыми группами организмов обусловлено целым рядом природных факторов, которые не всегда возможно описать математически.

Таким образом, из приведенных материалов по исследованию зоопланктона следует, что отмеченные изменения в качественном и количественном составе зоопланктона в основном определяются динамикой природных явлений и практически не зависят от функциональной деятельности исследованного садкового хозяйства. Это хорошо подтверждается динамикой изменений индекса С, величина которого в основном сохраняется в зоне оптимума (рис. 7; приложение 2).

#### 2.4. Макрозообентос

В прошлом веке, по мере нарастания промышленного воздействия, количественные показатели донного сообщества в Кондопожской губе также увеличивались. Только за период с 1988 по 1993 г. среднегодовая численность бентоса возросла от 0,57 тыс. экз./м<sup>2</sup> до 6,0 тыс. экз./м<sup>2</sup>, а биомасса увеличилась в 8 раз (от 1,38 г/м<sup>2</sup> до 11,73 г/м<sup>2</sup>). В последующие пять лет было отмечено снижение количественных показателей макрозообентоса. В 1998 г. его численность сократилась до 900 экз./м<sup>2</sup>

и биомасса — до 1,21 г/м<sup>2</sup>. В настоящее время численность макрозообентоса в открытой части губы изменяется в пределах от 900 до 1100 экз./м<sup>2</sup> и биомасса от 7,5 до 8,6 г/м<sup>2</sup>. Среди донных организмов преобладают олигохеты (66 % по численности и 34 % по биомассе), амфиподы (14 % по численности и 24 % по биомассе) и тендипедиды (11 % по численности и 29 % по биомассе) (Онежское озеро, 1999; Биоресурсы..., 2008). Контрольные съемки в 2012 г. показали снижение общей численности донных организмов в центральной части губы до 880 экз./м<sup>2</sup> и биомассы до 0,92 г/м<sup>2</sup>.

Донная фауна 2006 г. в зоне садков отличалась видовым разнообразием и высокими количественными показателями. Было выявлено 20 таксонов с преобладанием в них хирономид и олигохет. Хирономиды представлены 14 видами, из которых подавляющая часть (11 видов) принадлежит к подсемейству *Chironominae*, два вида — к подсемейству *Orthoclaadiinae* и один вид — к подсемейству *Tanytrodinae*. Доминировали *Sergentia longiventris*, *Stictochironomus histrio*, *Chironomus salinarius* и *Procladius Skuze*. По численности хирономиды занимали 50 % от общего количества донных организмов и по биомассе — 63 %. Численность олигохет составляла 25 % и биомасса — 21 %.

По количественным показателям численность и биомасса донной фауны в зоне садков были значительно ниже контрольных показателей (рис. 8, 9; приложение 3). Если в контроле средняя численность орга-

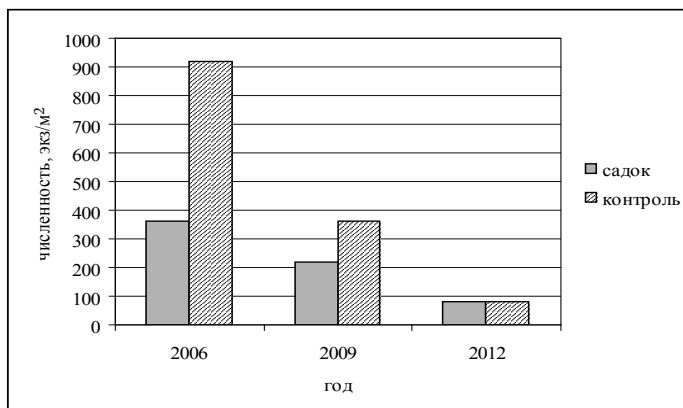


Рис. 8. Численность макрозообентоса Кондопожской губы, лето

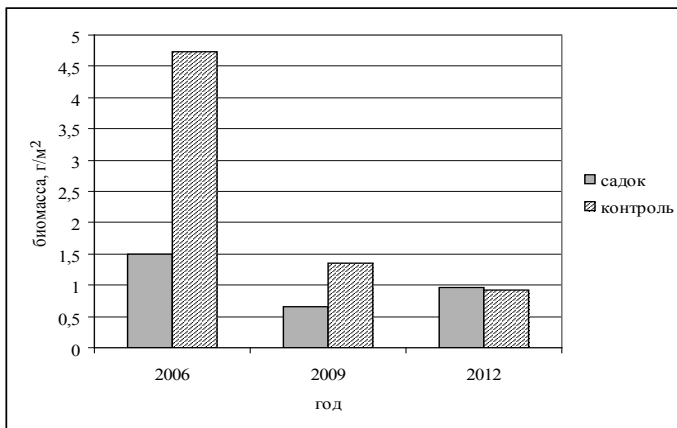


Рис. 9. Биомасса макрозообентоса Кондопожской губы, лето

низмов была 920 экз./м<sup>2</sup>, то в зоне садков эта величина равнялась 360 экз./м<sup>2</sup>. Соответственно показатели биомассы имели следующие величины: 4,73 г/м<sup>2</sup> и 1,49 м<sup>2</sup>. Об угнетенном состоянии макрозообентоса в зоне садков также можно судить по величинам индекса С, которые равнялись 0,39 (численность) и 0,32 (биомасса) (рис. 10; приложение 3). Рассчитанные индексы сапробности (рис. 11; приложение 3) указывали на β-мезосапробные условия в водоеме. Водные массы в районе форелевого хозяйства по показателям зообентоса можно классифицировать как умеренно загрязненные, что в целом характерно для вод Кондопожской губы Онежского озера.

В 2009 г. в зоне садков было выявлено 10 таксонов, среди которых, как и в предыдущие годы, преобладали хирономиды.

В частности, доля их в общих показателях макрозообентоса составляла по численности 45,5 % и по биомассе 44,4 %. Интересно отметить, что в контроле доля хирономид равнялась по численности 55,6 % и по биомассе 64,7 %, т. е. была несколько выше показателей зоны садков. Возможно, такое явление стало следствием различного содержания органических компонентов в водной среде (см. табл. 1). Доминирующими видами были *Sergentia longiventris*, *Procladius* sp.

Диапазон различий в количественных показателях между контролем и садками по сравнению с 2006 г. несколько сократился, но по-прежнему

донная фауна садков оставалась в более угнетенном состоянии (рис. 8, 9; приложение 3). Средняя численность организмов в зоне садков была 220 экз./м<sup>2</sup>, а в контроле — 360 экз./м<sup>2</sup>. Соответственно показатели биомассы были — 0,66 г/м<sup>2</sup> и 1,36 экз./м<sup>2</sup>. Индекс С в диапазоне численности был 0,61 и в диапазоне биомассы — 0,49 (рис. 10). Доля угнетенности макрозообентоса по сравнению с 2006 г. несколько сократилась, но все еще была достаточно высока. Причина таких различий, как уже отмечалось, в различной насыщенности водной среды органическими соединениями и биогенными элементами (см. табл. 1), что обеспечивается в определенной степени влиянием функционирующего садкового хозяйства.

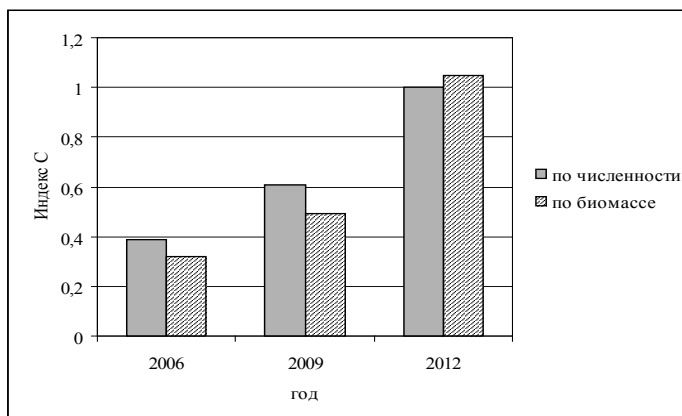


Рис. 10. Индекс С по численности и биомассе макрозообентоса Кондопожской губы, лето

Величины индекса сапробности, рассчитанные по макрозообентосу, показывают о сохранении стабильного состояния водной среды в Кондопожской губе (рис. 11; приложение 3). По их значениям воды Кондопожской губы можно считать умеренно загрязненными и сформировавшиеся в них условия отнести к категории β-мезосапробных. Исходя из величин индексов С существенная роль в формировании донной фауны в районе садков принадлежит влиянию функционирующего хозяйства, отходы которого, оседая в придонных слоях воды и донных отложениях, способствуют накоплению органики.

В 2012 году в зоне садков было выявлено всего лишь 8 таксонов, относящихся к следующим систематическим группам: *Chironomidae* (5 видов),

*Oligochaeta*, *Amphipoda*, *Nematoda*. В исследуемом сообществе преобладали хирономиды, которые по численности составляли 75 % от общего числа организмов, а по биомассе — даже 98 %. Среди хирономид преобладали *Stictochironomus histrio*, личинки *p.p. Chironomus* и *Procladius*.

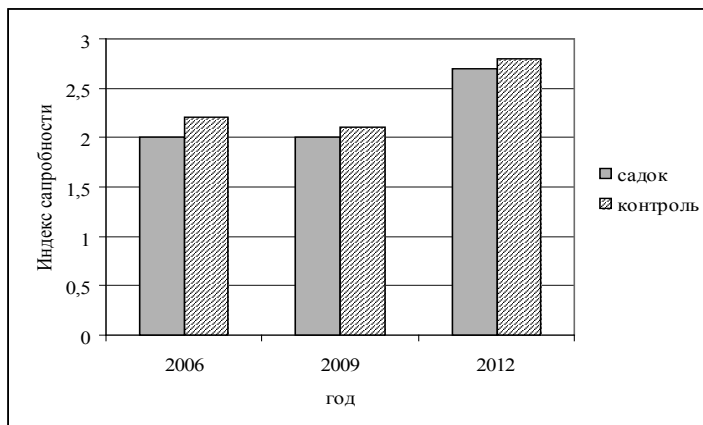


Рис. 11. Индекс сапробности по макрозообентосу Кондопожской губы, лето

Количественные показатели макрозообентоса также оказались очень низкими (рис. 8, 9; приложение 3). Общая численность донных организмов как в зоне садков, так и в контроле составила всего лишь 80 экз./м<sup>2</sup>. Различия в биомассе также практически отсутствовали (контроль — 0,92 г/м<sup>2</sup>, садки — 0,97 г/м<sup>2</sup>). Это значит, что функционирующее садковое хозяйство не оказывало негативного воздействия на донную фауну. Величина индекса С равнялась единице (рис. 10; приложение 3). Рассчитанные величины индексов сапробности (2,7—2,8) указывали на β-мезосапробные условия в исследованном районе водоема (контроль — садки), т. е. на существование умеренного уровня загрязнения водной среды.

Таким образом, в условиях общего загрязнения водной среды (от слабого до умеренного уровня) воздействие садкового хозяйства на макрозообентос четко проявлялось на угнетении численности и биомассы донных организмов в 2006 и в 2009 гг. В 2012 г. отмечено общее сокращение видового состава, численности и биомассы донных организмов в контроле и садках, что, возможно, «сгладило» воздействие садкового хозяйства. Дальнейшие исследования покажут достоверность нашей гипотезы.

## 2.5. Биотестирование

Исследование качества воды биологическим методом биотестирования показало, что озерная вода в зоне влияния форелевого хозяйства в 2006 г. летом была относительно благоприятной для стандартной тест-культуры дафний. Жизнеспособность тест-культуры не нарушалась на протяжении хронического исследования, продукция и рост самок были близки к контрольному уровню, процессы ово- и эмбриогенеза, а также физиологическое состояние соответствовали биологической норме. Сопоставление полученных результатов с данными предыдущих исследований (2002—2004 гг.) не выявило заметного ухудшения токсикологической ситуации за прошедший период.

В летний период 2009 г. биотестирование как в режиме острых опытов (96 час.), так и хронических опытов (20 сут.) показало, что озерная вода в контроле и в районе садков была однородна по своей кондиции и не оказывала на подопытные организмы токсического воздействия. Выживаемость подопытной тест-культуры была абсолютной (100 %). Размножение — основа существования популяции — не нарушалось: созревание самок, вымет первой молодежи как в опытных средах, так и в контроле были синхронными, нарушений овогенеза и эмбриогенеза не отмечено. Интенсивность воспроизводства также соответствовала интактному уровню, реальная плодовитость колебалась относительно контроля в допустимых пределах. Линейный рост дафний во всех вариантах опыта значимо не отклонялся от контрольных показателей. При микроскопическом исследовании нарушений физиологических функций не выявлено: у всех рачков кишечники были заполнены пищей на 4—5 баллов, депонированный жир оценивался в 2 балла, окраска тела — бледно-желтая (норма).

В 2012 г. в период летней межени жизнеспособность тест-объектов (дафний) не нарушалась на протяжении всего исследования, продукция самок была сопоставима с контролем, процессы ово- и эмбриогенеза не отклонялись от нормы. Отмечено лишь слабое ингибирующее воздействие на рост и пищеварительную функцию рачков. К концу хронической экспозиции длина подопытных из неразбавленной воды была ниже контрольных показателей (статистически достоверно), а у 40 % особей была заметно снижена степень наполнения кишечников — до 1—2 баллов (в контроле 4—5 баллов) при желто-коричневом окрашива-

нии (в контроле зелено-коричневое на 1/3). При двукратном разбавлении состояние тест-объектов нормализовалось.

Ингибирующее воздействие на тест-объекты могло в равной степени определяться как антропогенным влиянием, так и природными факторами.

Таким образом, выполненные исследования по биотестированию вод в районе садков показали, что их состояние, если и претерпевает некоторые изменения, однако они достаточно локальны и не отмечаются на расстоянии более 100 м от садковых площадок. Более того, имеются фактические материалы, свидетельствующие о том, что вклад рыбоводных хозяйств в негативные изменения водной среды незначителен по сравнению с другими источниками.

## 2.6. Рыбы

В Онежском озере отмечают 35 видов рыб, из которых почти половина имеют промысловое значение. Это форель, паляя, сиг, ряпушка, корюшка, судак, налим, лещ, щука, плотва, язь, окунь, ёрш, колюшка и др. Учетные уловы рыбы в Онежском озере за последнее десятилетие колеблются в пределах 2500 т/год. Основу их составляют ряпушка и корюшка. Лосось, сиви, судак вылавливаются в незначительных количествах.

Ихтиофауна Кондопожской губы практически не отличается от таковой Онежского озера. Обычными представителями являются щука, лещ, ряпушка, но численность их незначительна. К массовым видам относят окуня, плотву и ерша. До начала промышленного загрязнения сточными водами Кондопожского ЦБК отмечалась значительная численность ценных ее представителей — сига, ряпушки, лосося, судака. К настоящему времени численность этих видов рыб значительно сократилась и ведущую роль заняли окунь, плотва, ёрш, налим. В Кондопожской губе известны нерестилища многих видов рыб. В ее бассейне (река Суна) нерестятся пресноводный лосось и озерно-речные формы сига. Большинство нерестилищ сохранились до настоящего времени и осваиваются обитающими в губе видами рыб. До 1980-х гг. Кондопожская губа была промысловым районом водоема и в ней добывалось до 50 т рыбы в год. Основу уловов составляла ряпушка. Вылавливались также лосось, сиви, судаки. В настоящее время промысел в Кондопожской губе отсутствует, рыбу отлавливают лишь рыболовы-любители. Расчетная величина улова колеблется в пределах 20—25 т.

После прекращения рыбного промысла Кондопожская губа интенсивно осваивается садковым форелеводством. В настоящее время в ней функционируют 5 форелевых хозяйств общей мощностью около 1000 т/год товарной рыбы. Цикл выращивания рыбы круглогодичный. В районе хозяйств постоянно обитают окунь, плотва, ёрш и уклея. Нередко появляются разновозрастные лещ и судак. Особенно много молоди леща и судака у садков было отмечено в 2012 г. Очевидно, этому способствовали хорошая кормовая база и благоприятные температурные условия. Лосось и сиги у садковых хозяйств отсутствуют, хотя регулярно мигрируют через губу на свои обычные речные нерестилища. Ряпушка встречается у садков единично. При аварийных ситуациях на хозяйствах ушедшая из садков форель в течение 2—3 месяцев обитает в районе садков, а затем рассредотачивается по всей акватории губы и становится добычей счастливых рыбаков. Нерест ушедшей из садков форели нами не был выявлен, и такие сведения не поступали от местного населения.

Интересно отметить, что местные виды рыб хорошо приспособились к режиму кормления выращиваемой в садках рыбы. Наблюдения показали, что за 30—20 мин. до начала кормления в районе садков начинают скапливаться сначала молодь, а затем рыбы более старших возрастов (плотва, ёрш, окунь, уклея). Следом за ними появляются хищники — крупный окунь и мелкий судак. Массовое их скопление отмечается во время кормления выращиваемой рыбы. После кормления в течение часа местные рыбы рассредоточиваются по акватории губы на расстоянии 200—300 м от садков. У всех отловленных у садков рыб в пищеварительном тракте находились гранулы искусственного корма.

Таким образом, изучение видового состава местных рыб показало, что на их состав садковые хозяйства существенного влияния не оказывают. В то же время их влияние хорошо прослеживается на размещении рыб в акватории губы и их пищевых миграциях, обусловленных режимом кормления выращиваемой в садках продукции. Уходящая из садков выращиваемая рыба в настоящее время не имеет возможности размножаться в естественных условиях, т. к. в Кондопожской губе отсутствуют нерестилища.

### Глава 3. Лахтинская губа Онежского озера

Лахтинская губа находится в юго-западной части Онежского озера и всегда была одним из наиболее чистых районов этого крупнейшего в Европе водоема. Она широким плесом сообщается с открытой частью озера. Площадь водного зеркала составляет около 6 км<sup>2</sup>, преобладающие мелководья средней глубиной 4—5 м прерываются глубокими несколькими впадинами (до 17 м), грунты представлены тонким слоем песка и супеси. Изрезанность береговой линии и контрастность глубин оказывают влияние на разнородность температуры воды в различных участках губы и создают условия для возникновения прибрежных апвеллингов. Ветер западных направлений способствует стону теплых прибрежных вод к открытым участкам озера. При скорости ветра 5—7 м/сек, спустя несколько часов, происходит подъем глубинных вод к поверхности, термоклин при этом размывается (исчезает). При усиленном водообмене такого рода возникает «вентиляция» толщи вод и насыщение ее кислородом, а также перераспределение биогенных и органических веществ, что надо учитывать при гидрохимических и гидробиологических съемках (Экосистемы Онежского озера, 1990; Онежское озеро, 1999).

Лето обычно умеренно-теплое, чаще прохладное. Температура воды в верхнем слое колеблется в пределах 13—17 °С, изредка повышается в прибрежной зоне до 20 °С. За весь период исследования только в 2010 г. было жаркое лето, температура воды у берегов повышалась до 22 °С. Вегетационный период обычно продолжается с мая по октябрь, хотя первые заморозки иногда отмечаются в конце сентября.

### 3.1. Гидрохимический режим

На протяжении всего периода исследования Лахтинской губы газовый режим в районе размещения садкового хозяйства был благоприятный. Летом во всей толще воды (от поверхности до дна) содержание растворенного в воде кислорода колебалось в пределах 8—10 мг/л (насыщенность 90—99 %), зимой — от 12 до 14 мг/л (насыщенность 88—97 %). Показатели  $\text{CO}_2$  на протяжении всего года также изменялись в благоприятном интервале (0,8—2,5 мг/л). Активная реакция воды в основном была нейтральной (РН 7,0—7,5). Прозрачность вод в зависимости от сезона года изменялась в пределах 3—4 м, т. е. была в пределах биологической нормы. Цвет воды изменялся от желтоватого до желто-оранжевого. Цветность воды летом колебалась от 40 до 70 градусов, зимой — от 35 до 60 градусов. Динамика показателей содержания органических компонентов летом (июль) 2002 г. в зоне садкового хозяйства не выходила за пределы природных колебаний и в основном была сходной с контролем (табл. 3). В период от создания хозяйства (1996 г.) до 2002 г. объемы выращиваемой в садках рыбы были минимальными и не превышали 50 т/год. Следовательно, воздействие хозяйства на водную среду также должно быть минимальным и не могло привести к изменениям ее состояния. О благополучном состоянии водной среды в зоне садков можно также судить по индексам С, величина которых колебалась в пределах нормы (0,82—1,33). Исключение составило содержание минерального фосфора в поверхностном слое воды (индекс С 1,6). Возможно, это есть следствие турбулентного перемешивания водных масс, что, как уже отмечалось выше, нередко наблюдается в этой губе.

В 2006 г., по сравнению с 2002 г., общее содержание в водной толще Лахтинской губы (в контроле и у садков) легко окисляемых (ПО) и биохимически лабильных (БПК<sub>5</sub>) веществ в среднем увеличилось на 30 % (см. табл. 3). В 1,2 раза повысилось содержание аммонийного азота ( $\text{NH}_4$ ). Количество нитратов и соединений фосфора осталось на прежнем уровне, что свидетельствует о стабильности содержания биогенных элементов вод на протяжении длительного периода (4—6 лет).

В то же время, несмотря на общее увеличение содержания органических веществ, влияние садкового хозяйства на окружающую среду не проявилось. Это хорошо подтверждается не только абсолютными показателями, но и величинами индекса С, которые в основном сохранялись в пределах биологической нормы (0,79—1,06). Относительное же сокращение в поверхностном слое воды содержания биохимически ла-

бильной органики (индекс С 0,67) может быть следствием постепенного уменьшения объемов выращиваемой рыбы на протяжении вегетационного периода. В конце 2006 г. хозяйство прекратило свою деятельность.

Таблица 3

**Содержание некоторых компонентов органического вещества в воде Лахтинской губы в летний период (Отчеты о НИР 2002, 2006а, 2012а)**

Годы	Станции	ПО мгО <sub>2</sub> /л	БПК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /л	NH <sub>4</sub> ' мгN/л	NO <sub>2</sub> ' мгN/л	NO <sub>3</sub> ' мгN/л	P <sub>мин</sub> ' мгP/л	P <sub>общ</sub> ' мгP/л
2002	Садки	<u>6,2</u>	<u>0,77</u>	<u>0,14</u>	—	<u>0,15</u>	<u>0,008</u>	<u>0,008</u>
		6,4	0,70	0,13		0,14	0,003	0,005
	Контроль	<u>6,0</u>	<u>0,85</u>	<u>0,14</u>	—	<u>0,17</u>	<u>0,005</u>	<u>0,006</u>
6,2		0,70	0,15		0,17	0,003	0,006	
	Индекс С	<u>1,03</u>	<u>0,91</u>	<u>1,0</u>	—	<u>0,88</u>	<u>1,6</u>	<u>1,33</u>
		1,03	1,0	0,87		0,82	1,0	0,83
2006	Садки	<u>8,3</u>	<u>0,80</u>	<u>0,17</u>	<u>0,003</u>	<u>0,15</u>	<u>0,005</u>	<u>0,005</u>
		8,6	0,93	0,15	0,002	0,17	0,005	0,005
	Контроль	<u>8,3</u>	<u>1,2</u>	<u>0,16</u>	<u>0,003</u>	<u>0,15</u>	<u>0,005</u>	<u>0,005</u>
8,9		1,0	0,19	0,002	0,17	0,005	0,005	
	Индекс С	<u>1,0</u>	<u>0,67</u>	<u>1,06</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>
		0,97	0,93	0,79	1,0	1,0	1,0	1,0
2012	Садки	<u>7,7</u>	<u>1,3</u>	<u>0,2</u>	<u>0,001</u>	<u>0,15</u>	<u>0,008</u>	<u>0,008</u>
		10,0	1,3	0,2	0,001	0,18	0,010	0,008
	Контроль	<u>8,6</u>	<u>1,2</u>	<u>0,18</u>	<u>0,001</u>	<u>0,17</u>	<u>0,010</u>	<u>0,010</u>
8,6		1,3	0,17	0,001	0,18	0,012	0,012	
	Индекс С	<u>0,90</u>	<u>1,0</u>	<u>1,11</u>	<u>1,0</u>	<u>0,88</u>	<u>0,8</u>	<u>0,8</u>
		1,16	1,0	1,18	1,0	1,0	0,83	0,67

Примечание: числитель — поверхность, знаменатель — дно.

В 2012 г. содержание органики в водной толще контрольной зоны практически сохранилось на уровне 2006 г. (см. табл. 3). Отмечено лишь общее увеличение содержания соединений фосфора (в 2,0—2,4 раза). Последствие же функционирования садкового хозяйства на окружающую среду практически не проявилось. Величины индексов С сохранялись в нижней части биологической нормы (0,8—1,18).

### 3.2. Фитопланктон

В открытой части Лахтинской губы во время выполнения исследовательских работ (2002—2012 гг.) в составе фитопланктона было обнаружено до 47 видов и разновидностей. Минимальное число видов было вы-

явлено в 2002 г. (28 видов), а максимальное в 2011 г. (47 видов). Обычно преобладали диатомовые (до 25 видов) и зеленые (до 10 видов) водоросли. Другие систематические группы были представлены единично: синезеленые — до 4, пиррофитовые — до 3, золотистые — не более одного вида. В поверхностных слоях воды основу фитопланктона в июле обычно составляли *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus agassizensis*, *Aulacosira italica* var. *tenuissima*, *Aulacosira islandica*, *Asterionella formosa* и *Tabellaria fenestrata*. В придонных слоях, наряду с диатомовыми, массовое развитие получили зеленые, особенно *Staurastrum oxyacantum*. Флористически фитопланктон губы начал обогащаться после прекращения деятельности садкового хозяйства. В этот период особенно интенсивно развивались *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis*.

Количественный состав фитопланктона изменялся в значительных пределах — от 90 тыс. кл./л до 250 тыс. кл./л. Максимальное количество водорослей было отмечено в 2006 г. (247 тыс. кл./л), а минимальное — в 2012 г. (90 тыс. кл./л). Биомасса водорослей колебалась также в значительных пределах — от 0,074 до 0,377 г/м<sup>3</sup>, с максимумом в 2006 г. и минимумом в 2012 г.

В 2002 г. у садков фитопланктон был представлен 21 видом водорослей с разнообразиями, основу его составляли диатомовые (13 видов). Лидировали в это время *Tabellaria fenestrata* (64,3 %), *Asterionella formosa* (18,6 %) и *Aulacosira italica* (10/2 %). Из зеленых отмечен *Oedogonium* sp., из синезеленых — *Spyrogira* sp., зарегистрирована на придонном горизонте. Средняя численность водорослей у садков равнялась 140 тыс. кл./л при биомассе 0,342 г/м<sup>3</sup>. В основном водоросли были сосредоточены на глубине 3—4 м. В контроле в это время численность водорослей была 179 тыс. кл./л и биомасса — 0,389 г/м<sup>3</sup>, которые в основном концентрировались на глубине 4—6 м (рис. 12, 13; приложение 4).

Для определения уровня воздействия садкового хозяйства на количественные показатели фитопланктона воспользуемся индексом С, величины которого равнялись для численности 0,82 и для биомассы 1,06, т. е. находились в благоприятном интервале ранжирования (рис. 14; приложение 4). Значит, негативное воздействие хозяйства отсутствует. Это подтверждается и показателями индекса сапробности (рис. 15; приложение 4).

В 2006 г. в районе садков было выявлено 38 видов с разнообразиями. Лидировали, как и следует для олиготрофного водоема, диатомовые

(22 вида) и зеленые (9 видов). Синезеленые были представлены 4 видами, пиррофитовые — 2 и золотистые — 1 видом. Доминировали в основном *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* и *Aulacosira islandica*. По сравнению с 2002 г. количественные показатели фитопланктона по численности выросли в контроле на 1,2 раза и у садков — в 1,8 раза. Величина биомассы практически не изменилась. Такое соотношение изменения численности и биомассы в различные годы показывает на изменение видового состава водорослей, что хорошо подтверждается приведенными выше материалами о флористическом составе водорослей. Водоросли в 2006 г. достигли численности в контроле до 212 тыс. кл./л при биомассе 0,366 г/м<sup>3</sup> и у садков — 247 тыс. кл./л при биомассе 0,344 г/м<sup>3</sup> (рис. 12, 13; приложение 4).

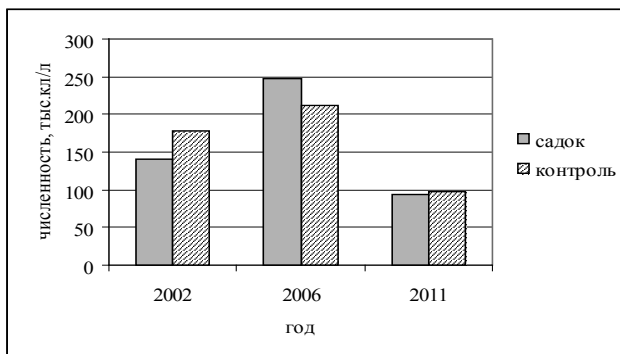


Рис. 12. Численность фитопланктона Лахтинской губы

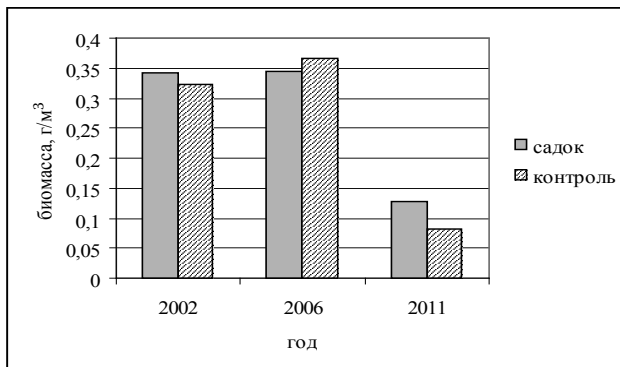


Рис. 13. Биомасса фитопланктона Лахтинской губы

Воздействие же хозяйства на фитопланктон в 2006 г., несмотря на максимально возможные объемы выращивания рыбы, также отсутствовало. Величина индексов С была в пределах нормы: по численности — 1,17 и по биомассе — 0,94 (рис. 14; приложение 4). Индекс сапробности также подтверждал благоприятное состояние водоема (рис. 15; приложение 4).

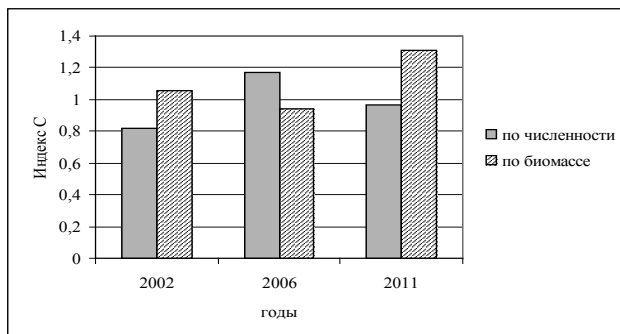


Рис. 14. Индекс С по численности и биомассе фитопланктона Лахтинской губы

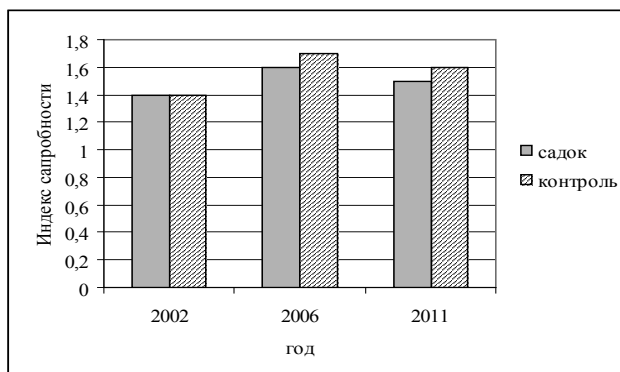


Рис. 15. Индекс сапробности по фитопланктону Лахтинской губы

Через 5 лет после закрытия хозяйства в 2011 году было выявлено у садков 47 видов и разновидностей фитопланктона в следующем соотношении: диатомовые — 28, зеленые — 12, синезеленые — 4, пиррофитовые — 2, золотистые — 1. В этот период вегетировали *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* и *Fragilaria crotonensis*. Численность водорослей у садков была 94 тыс. кл./л и биомасса — 0,127 г/м<sup>3</sup>. В контроле анало-

гичные показатели равнялись 97 тыс. кл./л и 0,097 г/м<sup>3</sup> соответственно (рис. 12, 13; приложение 4).

Судя по соотношению количественных показателей у садков и в контроле негативное воздействие хозяйства на фитопланктон практически отсутствует. Величина индекса С по численности равняется 0,97 и по биомассе — 1,31. Индекс сапробности также указывает на отсутствие трофических изменений в водоеме (рис. 14, 15; приложение 4). Однако величина индекса С по биомассе находится на границе «норма» и «слабое воздействие». Возможно, что отдаленными последствиями деятельности форелевого хозяйства после закрытия явились изменения в биомассе фитопланктона в районе садков. В дальнейшем следует учитывать, что садковое хозяйство является очень сложным компонентом и, включая его в водную экосистему, необходимо очень строго контролировать состояние не только водной среды, но и водных организмов.

Однако нельзя также не отметить, что средние величины количественных показателей состояния фитопланктона по сравнению с 2006 г. сократились в 2,65 раза (рис. 12, 13; приложение 4). Причиной этого могло стать некоторое сокращение биогенных элементов в водной толще. Содержание азотистых и фосфорных соединений в водной толще по сравнению с 2006 г. уменьшилось в 1,3 раза. Кроме того, холодное лето 2011 г., ветровое перемешивание холодных и теплых вод также могли отразиться на развитии фитопланктона (Отчет о НИР, 2011).

Для выявления связи между количественными показателями фитопланктона и содержанием органических компонентов и биогенных элементов были вычислены коэффициенты корреляции (табл. 4).

Таблица 4

**Коэффициенты корреляции между гидрохимическими показателями и параметрами фитопланктона Лахтинской губы Онежского озера (садки)**

Параметры	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	NH <sub>4</sub> , мгN/л	NO <sub>2</sub> , мгN/л	NO <sub>3</sub> , мгN/л	P <sub>мин</sub> , мгP/л	Робц., мгP/л
Численность, тыс. кл./л	<u>0,49</u> 0,60	<u>-0,70</u> -0,42	<u>-0,29</u> -0,51	=	= -0,02	<u>-0,96</u> -0,51	<u>-0,96</u> -0,55
Биомасса, г/м <sup>3</sup>	<u>-0,23</u> -0,10	<u>-1,0</u> -0,92	<u>-0,86</u> -0,96	=	= -0,69	<u>-0,51</u> -0,96	<u>-0,51</u> -0,97

Примечание: числитель — поверхность, знаменатель — придонный слой.

И в поверхностном, и в придонном слоях воды связь между органическими компонентами и количественными показателями фитопланктона выражена достаточно четко. Коэффициент корреляции по численности и биомассе фитопланктона находился в пределах 0,42—1,0. Исключение составили связь легко окисляемых веществ (ПО) с биомассой фитопланктона и в придонных, и в поверхностных слоях воды,  $\text{NH}_4$  — с численностью фитопланктона в поверхностных слоях и  $\text{NO}_3$  с численностью водорослей в придонных слоях.

### 3.3. Зоопланктон

В период исследования видовой состав зоопланктона Лахтинской губы изменялся в пределах от 76 до 92 видов и разновидностей, представленных коловратками (до 38 %) и ракообразными (до 62 %). Основу последних составляли представители кладоцера (до 75 %). Это, г. о. эврибионтные виды, широко распространенные в умеренной зоне Северного полушария (фенноскандинавский комплекс). Из коловраток в состав руководящих видов сообщества входят: *K. longispina*, *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *C. unicornis*, *G. styliffer*, *A. ecaudis*, *P. dolichoptera*. Среди ракообразных, наряду с круглогодичными эвритермными видами — *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Limnocalanus macrurus*, *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, большой численности достигают многие сезонные умеренно-тепловодные виды — *Heterocope appendiculata*, *Mesocyclops leuckarti*, *Paracyclops fimbriatus*, *Daphnia longiremis*, *Leptodora kindtii* и др. Отмечено некоторое увеличение видового разнообразия зоопланктона после прекращения деятельности садкового хозяйства (от 81 до 92 видов и разновидностей).

Количественный состав зоопланктона в период исследований был также не постоянен, его численность колебалась в пределах от 71,0 тыс. экз./м<sup>3</sup> до 218,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Минимум отмечен в 2002 г., максимум — в 2006 г. Биомасса зоопланктона также изменялась в широких пределах — от 1,5 г/м<sup>3</sup> до 6,3 г/м<sup>3</sup>. Минимум количественного состава наблюдался в начале исследования (2002 г.) и перед прекращением деятельности садкового хозяйства. В 2006 г. был выращен максимальный объем рыбной продукции, который был постепенно реализован во второй половине года.

В 2002 г. фаунистически зоопланктон Лахтинской губы был представлен у садков 72 видами и разновидностями. Основу зоопланктона составляли коловратки (37,2 %), кладоцера (40,2 %) и циклопида (15,2 %). Доминирующий комплекс был представлен следующими видами:

*K. longispina*, *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*. *Limnocalanus macrurus*, *Heterocope appendiculata*, *Mesocyclops leuckarti* и др.

У садков общая численность зоопланктона равнялась 66,8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомасса — 1,437 г/м<sup>3</sup>. В контроле эти показатели были несколько больше: численность — 71,3 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомасса — 1,467 г/м<sup>3</sup> (рис. 16, 17; приложение 5). Вычислив величину индекса С, можно с уверенностью утверждать, что садковое хозяйство негативного воздействия на зоопланктон не оказывало. Индекс С по численности составлял 0,94 и по биомассе — 0,98 (рис. 18; приложение 5). Величины коэффициентов сапробности (1,9 и 1,8) свидетельствуют о слабой загрязненности водной среды в районе садков (рис. 19; приложение 5).

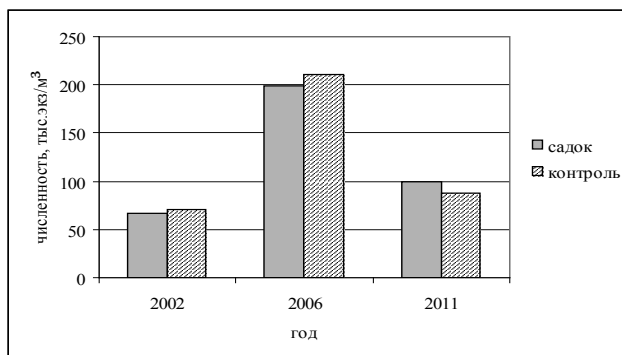


Рис. 16. Численность зоопланктона Лахтинской губы

К 2006 г. состав зоопланктона Лахтинской губы в районе садкового хозяйства пополнился новыми 9 видами и достиг величины 81 вид. Как и в предыдущие годы, основу зоопланктона составляли коловратки (38,2%) и кладоцеры (57,3%). Лидирующее положение заняли *K. cochlearis*, *K. longispina*, *E. gracilis*, *T. Oithonoides*, *M. Leuckarti*, *P. fimbriatus* и др.

Численность и биомасса планктеров достигли рекордной величины. У садков средняя численность зоопланктона составляла 198,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а средняя биомасса — 5,281 г/м<sup>3</sup>. В контроле соответственно эти показатели равнялись 210,6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 6,128 г/м<sup>3</sup>. По сравнению с 2002 г. численность планктонных организмов у садков и в контроле возросла в 3 раза. Биомасса зоопланктона у садков увеличилась в 3,8 раза, а в контроле — даже в 4,0 раза (рис. 16, 17; приложение 5). Такое увеличение количественных показателей не может быть только следствием формирования новых

видов зоопланктона, но оно, вероятно, зависит от погодных условий. 2006 г. был умеренно-теплым с сильными ветрами и высокой влажностью, что могло способствовать появлению новых источников органических компонентов. В частности, это согласуется с увеличением в это время содержания легко окисляемых (ПО) и биохимически лабильных (БПК<sub>5</sub>) веществ, а также аммонийного азота (NH<sub>4</sub>) до 30 % по сравнению с 2002 г. (см. табл. 3).

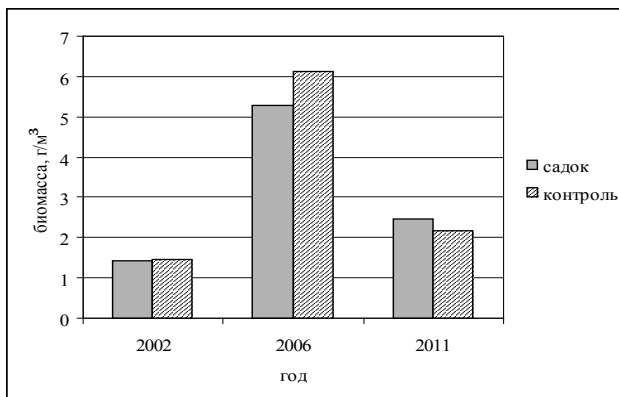


Рис. 17. Биомасса зоопланктона Лахтинской губы

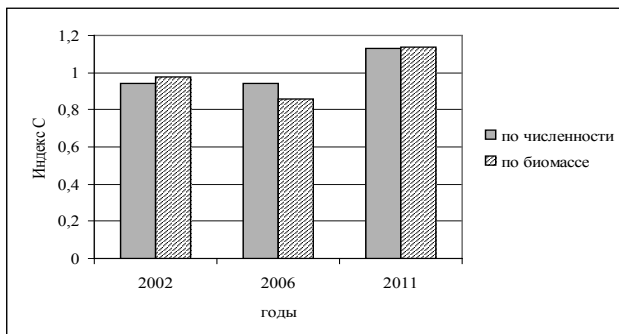


Рис. 18. Индекс С по численности и биомассе зоопланктона Лахтинской губы

Несмотря на общее увеличение количественных показателей зоопланктона, негативного воздействия садкового хозяйства не было отмечено. Величина индекса С находилась в пределах нормы (по численности — 1,13 и по биомассе — 1,14). Индекс сапробности в районе хозяйства и от-

крытом водоеме равнялся 1,7, что также указывает на благополучие в водоеме (рис. 18, 19; приложение 5).

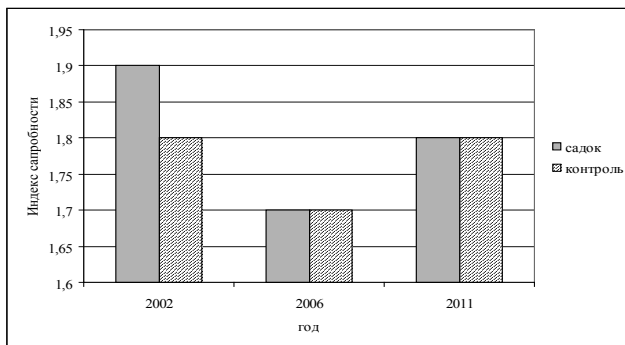


Рис. 19. Индекс сапробности по зоопланктону Лахтинской губы

В 2011 г. в составе зоопланктона «у садков» было обнаружено 92 вида коловраток и ракообразных, в том числе коловраток — 32, ракообразных — 60 (*Cladocera* — 44, *Calanoida* — 4, *Cyclopoida* — 12). Из коловраток в состав руководящих видов входили *K. longispina*, *K. cochlearis*, *A. priodonta*, *C. unicornis*, *G. styliffer*, *A. ecaudis*, *P. dolichoptera*. Среди ракообразных, наряду с круглогодичными эвритермными видами — *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Limnocalanus macrurus*, *Daphnia cristata*, *Bosmina obtusirostris*, большой численности достигли многие сезонные умеренно-тепловодные виды — *Heterocope appendiculata*, *Mesocyclops leuckarti*, *Paracyclops fimbriatus*, *Daphnia longiremis*, хидориды, *Leptodora kindtii* и др.

Количественные показатели состояния зоопланктона по сравнению с 2006 г. сократились в 2,0—2,5 раза. У садков средняя численность планктонных организмов была 99,0 тыс. экз./м<sup>3</sup> и средняя биомасса — 2,468 г/м<sup>3</sup>. В контроле названные показатели равнялись 87,5 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 2,166 г/м<sup>3</sup> соответственно (рис. 16, 17; приложение 5). По имеющимся у нас материалам в этот год лето было холодным. Температура воды на поверхности не превышала 11 °С, а на глубине более 2 м была ниже 9 °С. Содержание минерального фосфора (0,004 мг/л) и нитратов (0,08 мгN/л) было минимальным, биохимически лабильные органические вещества также были в незначительных (0,05 мгO<sub>2</sub>/л) количествах.

Для определения уровня воздействия садкового хозяйства на зоопланктон исследовались показатели индекса С (рис. 18; приложение 5). Летом

2011 г. индексы С по численности и биомассе зоопланктона равнялись 1,13 и 1,14 соответственно, что свидетельствует об отсутствии негативного воздействия хозяйства. Величина индекса сапробности как в контроле, так и у садков одинакова и равнялась 1,8. Воду Лахтинской губы Онежского озера можно характеризовать в этот период как слабо загрязненную (рис. 19; приложение 5).

Анализируя изложенные материалы по динамике качественных характеристик и количественных изменений в состоянии зоопланктона, можно однозначно утверждать, что отсутствует негативное воздействие садкового хозяйства на зоопланктон Лахтинской губы.

### 3.4. Макрозообентос

Скалисто-глыбовая литораль Лахтинской губы определяет видовую монотонность донного населения, которое в качественном отношении представлено традиционно бедным комплексом беспозвоночных. В период исследования в Лахтинской губе выявлено 35 видов и форм беспозвоночных, основу которых составляют хирономиды (до 35 %), жуки (до 24 %) и олигохеты (до 20 %). В меньших количествах встречаются ракообразные, моллюски, личинки ручейников, поденок и гелеид.

Среднегодовая плотность макрозообентоса в губе составляет 366,5 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — 0,87 г/м<sup>2</sup>. Вообще количественные показатели донной фауны Лахтинской губы стабильны и колеблются в незначительных пределах (численность — от 186 до 496 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — от 0,63 до 1,12 г/м<sup>2</sup>). Преобладают в донном сообществе *Micropsectra praecox*, *Paracladopelma camptolabis*, *Ablabesmya lentiginosa*, *Lamprodrilus isoporus*, *Spirosperma ferox* и др.

По видовому разнообразию и количественным показателям бентофауны Лахтинская губа относится к водоемам олиготрофного типа.

В 2002 г. макрозообентос в районе садков был представлен 29 видами и формами. Основу его составляли хирономиды и олигохеты, относящиеся к 8 систематическим группам беспозвоночных: олигохеты, ракообразные, моллюски, личинки ручейников, жуков, поденок, гелеид, хирономид. Личинки хирономид (32 %) и олигохеты (29 %) составляют основу бентического сообщества у садков. Лидировали в это время *Paracladopelma camptolabis*, *Ablabesmya lentiginosa*, *Psectrocladius pilopterus*, *Lamprodrilus isoporus*, *Spirosperma ferox* и др.

Количественные показатели макрозообентоса в 2002 г. в зоне садков практически не отличались от контроля и сохранялись в пределах многолет-

них колебаний (рис. 20, 21; приложение 6). Средняя численность макрозоопланктона у садков была 665 экз./м<sup>2</sup>, а в контроле — 700 экз./м<sup>2</sup>. Биомасса донных организмов у садков равнялась в среднем 0,7 г/м<sup>2</sup>, и в контроле — 0,77 г/м<sup>2</sup>. Отсутствие различий в количественных показателях донной фауны между садками и контролем является следствием отсутствия негативного влияния садков на окружающую среду. Это подтверждается также величинами индекса С, которые по численности были равны 0,95 и по биомассе — 0,91, т. е. находились в пределах нормы (рис. 22; приложение 6). Индекс сапробности (1,4) свидетельствует о благополучном состоянии водной среды и биоты в этом районе (рис. 23; приложение 6).

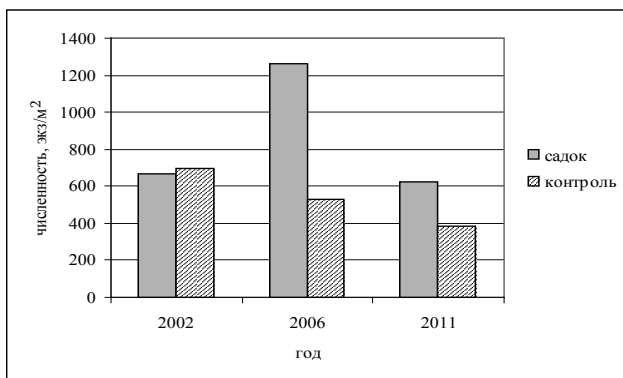


Рис. 20. Численность макрозообентоса Лахтинской губы

В 2006 г. несколько изменился видовой состав макрозообентоса, выявлено 35 видов и форм, т. е. их количество возросло на шесть видов. По-прежнему в видовом составе по численности и биомассе доминировали хирономиды (38 %) и олигохеты (33 %). Среди них лидировали *Lamprodrilus isoporus*, *Psectrocladius psilopterus*, *Micropsectra praecox*, *Paracladopelma camptolabis* и др.

Одновременно с увеличением биоразнообразия в зоне садков возросли количественные показатели донной фауны. Средняя численность макрозообентоса достигла величины 1262 экз./м<sup>2</sup>, при биомассе 1,6 г/м<sup>2</sup>. Контрольные показатели донных организмов даже несколько сократились по сравнению с 2002 г. (численность — 529 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — 0,670 г/м<sup>2</sup>). По количественным показателям доминирующее положение занимали хирономиды, численность их достигла 75 %, а биомасса — даже 90 % (рис. 20, 21; приложение 6).

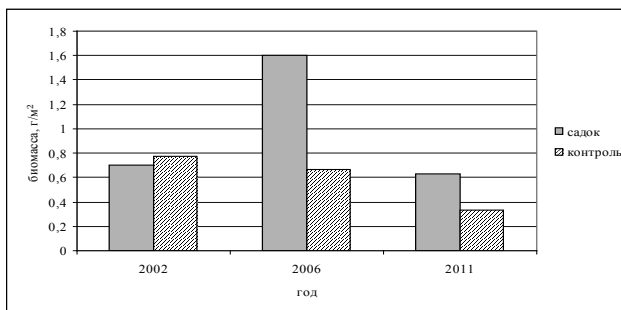


Рис. 21. Биомасса макрозообентоса Лахтинской губы

Конечно, на значительное увеличение плотности размещения донных организмов в зоне садков оказало влияние садковое хозяйство. Как уже отмечалось ранее, к этому году биомасса выращиваемой рыбной продукции достигла максимума (до 300 т). О влиянии садкового хозяйства можно судить по величине индекса  $C$ , которая в 2006 г. достигла показателя 2,39 и по численности, и по биомассе (рис. 22; приложение 6). Это значит, что садковое хозяйство оказало на макрозообентос сильное влияние. Очевидно, по мере увеличения биомассы выращиваемой в садках рыбы возрастало накопление твердых отходов (кормов, экскрементов), которые скапливались непосредственно под садками. Накопление же органики в донных отложениях способствовало увеличению численности и биомассы донных организмов. Однако влияние накопленной в донных отложениях органики не оказало воздействия на водную среду, признаки мезотрофии еще не проявились (рис. 23; приложение 6).

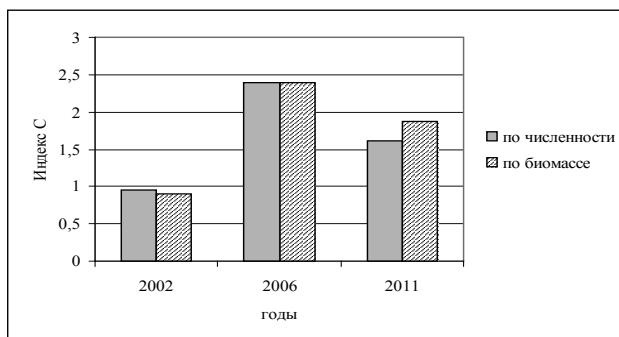


Рис. 22. Индекс  $C$  по численности и биомассе макрозообентоса Лахтинской губы

В 2011 г. было выявлено 30 видов и форм, относящихся к 7 систематическим группам беспозвоночных (олигохеты, хирономиды, ракообразные, водяные клещи, личинки гелеид, ручейники, моллюски). Однако хирономиды (*Psectrocladius psilopterus*, *Micropsectra praecox*, *Paracladopelma campolabis*, *Ablabesmya lentiginosa*) и олигохеты (*Lamprodrilus isoporus*, *Spirosperma ferox*) по-прежнему составляли основу бентического сообщества.

После закрытия хозяйства к 2011 г. количественные показатели развития макрозообентоса значительно сократились (рис. 21, 22; приложение 6). В зоне садков численность донных организмов равнялась 622 экз./м<sup>2</sup> и биомасса — 0,633 г/м<sup>2</sup>. Существенно сократились численность и биомасса макрозообентоса и в контроле — 384 экз./м<sup>2</sup> и 0,336 г/м<sup>2</sup>.

Однако несмотря на общее сокращение количественных показателей донной фауны, в 2011 г. сохранились существенные различия между контролем и садками. Величина индекса С по численности составила 1,62 и по биомассе — 1,88. Это значит, что последствие функционирования садкового хозяйства на донную фауну хотя сократилось почти в 1,5 раза по сравнению с 2006 г., но еще сохранилось на достаточно высоком уровне. Последствие работы хозяйства на макрозообентос продолжается и это проявляется особенно на хирономидах, преобладающих в этой системе (численность до 91 %, биомасса — до 85 %). Качество водной среды сохраняется в удовлетворительном состоянии, индекс сапробности равен 1,4 (рис. 23; приложение 6).

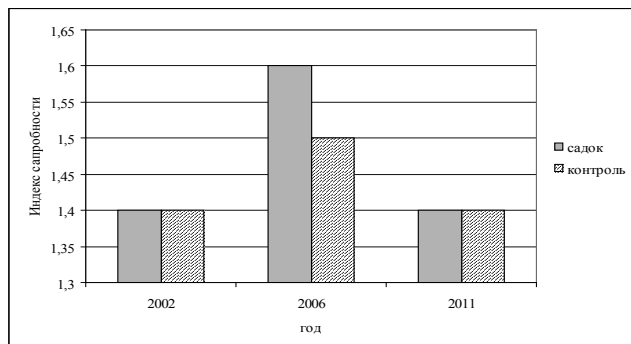


Рис. 23. Индекс сапробности по макрозообентосу Лахтинской губы

### 3.5. Биотестирование

Биотестирование в режиме острого опыта (96 час.) показало, что озерная вода как в контроле, так и в районе садков в период с 2006 по 2011 г. для подопытных организмов не имела острого токсического воздействия.

В районе садков биотестированием на дафниях показано, что в течение всего периода исследований вода была относительно благоприятна для жизнедеятельности индикаторного вида. Выживаемость рачков во всех вариантах опыта и в контроле колебалась в пределах 93—100 %, линейный рост не нарушался, показатель размножения (реальная плодовитость) относительно контроля не изменялся и был в пределах 22,9—28,5 экз./самку. Физиологическое состояние дафний также соответствовало контролю — наполнение кишечника оценивалось в 4—5 баллов при зелено-коричневом окрашивании, количество депонированного жира — 2 балла, окраска тела желтоватая, процессы ово- и эмбриогенеза протекали синхронно и без нарушений.

В контроле вода сохраняла свои высокие природные качества в течение всего периода наблюдений, а индикаторный вид в тестируемых средах в основном соответствовал своей биологической норме.

Таким образом, токсикологический мониторинг показал, что на протяжении всего периода исследования вода Лахтинской губы в зоне садков и в контроле по дафниевому тесту имела нормативную кондицию. Слабая токсичность воды в районе садков в 2006 г. в виде угнетения репродуктивной функции может быть следствием увеличения содержания биохимически лабильных веществ.

### 3.6. Рыбы

Юго-западный район Онежского озера, в том числе и Лахтинская губа, является местом нагула лососёвых и сиговых видов рыб. В этом районе нерестятся щука, плотва, лещ, окунь и другие виды рыб. За период исследований уловы рыбы в губе были представлены 14 видами — пресноводный лосось, радужная форель, сиг обыкновенный, европейская ряпушка, европейская корюшка, лещ, плотва, щука, налим, судак, окунь, ёрш, трёхиглая колюшка и девятииглая колюшка. Встречались также крупная форма ряпушки — килец, сиг ямный и сиг лудога. В период функционирования садкового хозяйства появился лещ, до организации хозяйства не встречавшийся в этом районе. Особенно много леща появилось при максимальной величине выращиваемой в садках рыбы

(2005—2006 гг.). У садков также концентрировались мелкий окунь, ёрш и «ушедшая» из садков форель. Были выявлены морфофизиологические изменения у некоторых видов рыб. Например, для ерша, биоиндикатора состояния водных экосистем, сложившиеся благоприятные кормовые условия, обусловленные работой хозяйства, отразились на его массе, упитанности и индексах внутренних органов (Дзюбук, 2012).

После прекращения деятельности хозяйства увеличилось количество нагуливающейся в губе ряпушки, чаще стал появляться мелкий лосось. Исчезла из района бывшего садкового хозяйства «ушедшая» ранее из садков форель. Очевидно, ее выловили рыболовы-любители. Условия для размножения радужной форели в губе отсутствуют. Изменений в численности других видов рыб не выявлено.

Таким образом, проведенные исследования в Лахтинской губе Онежского озера показали, что функционирование садкового хозяйства в экологически обоснованных объемах практически не оказало негативного воздействия на химический состав воды и состояние планктонных гидробионтов. Что касается макрозообентоса, то функционирование садкового хозяйства оказалось для него негативным. Четкие изменения в его видовом составе и количественных показателях были выявлены уже в 2006 г. при максимальных объемах выращиваемой рыбы и сохранялись в течение 5 лет после закрытия хозяйства (рис. 21—23; приложение 6). Влияние хозяйства отразилось на распределении рыб различных видов и физиологических показателях индикаторного вида (ерша).

Причинами сохранения гидрохимических показателей водной среды и планктонных организмов могут быть отсутствие изолированности губы от открытой части озера, высокая подвижность водных масс и низкая толерантность планктонных организмов. Этому могла также способствовать высокая скорость трансформации конечных продуктов метаболизма выращиваемых рыб.

Что касается донных организмов, то причинами длительного сохранения воздействия хозяйства являются высокая толерантность основных групп донной фауны, накопление в донных отложениях под садками органических веществ и очень медленная их трансформация. Следует отметить, что для появления воздействия хозяйства на донную фауну потребовалось более пяти лет его деятельности.

Изменения в составе ихтиофауны, скорее всего, связаны с поступлением в водную среду дополнительной пищи для них (остатков корма, увеличения биомассы кормовых организмов).

## Глава 4. Озеро Сундозеро

Озеро Сундозеро (Сунозеро) расположено в южной части Карелии. Относится к бассейну Онежского озера и является одним из проточных водоемов реки Суна. В южную его часть впадает река Нива, вытекающая из озера Пялозеро. Площадь Сундозера — около 50 км<sup>2</sup>, длина береговой линии — 49,8 км. Озеро удлинено-прямоугольной формы, вытянуто с севера на юг, наибольшая длина озера 15,3 км, ширина 5,3 км, максимальная глубина 41,5 м, средняя глубина около 10 м. Имеется семь островов, расположенных в южной части водоема (Озера Карелии, 1959). Озеро бедно высшей водной растительностью, заросли только в южной части. У западного берега в отдельных местах редкие заросли тростника и рдеста плавающего. Рельеф дна очень сложный, каменные гряды разделяются глубокими впадинами. Прибрежье сложено из песчаных отмелей и песчано-рудных и каменных грунтов. Большая часть дна покрыта зеленовато-серыми илами. Во время функционирования садкового хозяйства состояние экосистемы Сундозера исследовалось дважды — в 2006 и 2009 г.

### 4.1. Гидрохимический режим

Гидрохимический режим озера в период открытой воды определяется, главным образом, стоком вод из реки Суна. Активная реакция воды во время исследования была близка к нейтральной (рН 7,25—7,85), газовый режим благоприятный (O<sub>2</sub> 6,1—7,8 мг/л), цветность вод очень низкая (32—48 градусов), прозрачность до 3,5 м. Водные массы светло-коричневого цвета.

В летний период 2006 г. содержание легко окисляемых и биохимически лабильных веществ в зоне садков не отличалось от контроля, как в поверхностных слоях воды, так и в придонных ее участках. Количествен-

ный состав соединений азота также был в пределах нормы (табл. 4). Для этих групп веществ индекс С колебался около единицы (от 0,85 до 1,2). Количество же фосфорных соединений в зоне садков существенно отличалось (в 2—3 раза) от контроля (табл. 5). Судя по величине индекса С (2,2—2,5), четко проявлялось воздействие хозяйства на содержание в воде минерального фосфора. Несколько в меньшей степени изменялся общий фосфор в поверхностном слое воды (индекс С 2,0) и практически в норме было его содержание у дна (индекс С 1,7). Возможно, биологические особенности экосистемы водоема не обеспечивают быстрого использования фосфорных соединений, поступающих в водоем при функционировании садкового хозяйства. Не исключается также возможность влияния качества кормов (содержание фосфора в корме выше нормы потребности рыб), что в настоящее время проверить уже невозможно.

Таблица 5

**Содержание органических компонентов в воде Сундозера (июль)  
(Отчеты о НИР, 2006б, 2009)**

Годы	Станция	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /л	NH <sub>4</sub> , мгN/л	NO <sub>2</sub> , мгN/л	NO <sub>3</sub> , мгN/л	P <sub>мин</sub> , мгP/л	P <sub>общ</sub> , мгP/л
2006	Садки	<u>10,0</u> 9,8	<u>1,40</u> 1,05	<u>0,17</u> 0,20	<u>0,002</u> 0,003	<u>0,06</u> 0,11	<u>0,011</u> 0,020	<u>0,016</u> 0,026
	Контроль	<u>10,4</u> 9,6	<u>1,26</u> 0,94	<u>0,20</u> 0,22	<u>0,002</u> 0,003	<u>0,05</u> 0,09	<u>0,005</u> 0,008	<u>0,008</u> 0,014
	Индекс С	<u>0,96</u> 1,02	<u>1,11</u> 1,12	<u>0,85</u> 0,91	<u>1,0</u> 1,0	<u>1,2</u> 1,2	<u>2,2</u> 2,5	<u>2,0</u> 1,7
2009	Садки	<u>11,9</u> 11,2	<u>1,63</u> 1,56	<u>0,12</u> 0,17	<u>0,004</u> 0,002	<u>0,10</u> 0,10	<u>0,009</u> 0,009	<u>0,013</u> 0,019
	Контроль	<u>10,9</u> 9,9	<u>1,35</u> 1,11	<u>0,10</u> 0,12	<u>0,003</u> 0,002	<u>0,08</u> 0,07	<u>0,006</u> 0,009	<u>0,010</u> 0,018
	Индекс С	<u>1,09</u> 1,13	<u>1,21</u> 1,41	<u>1,2</u> 1,4	<u>1,33</u> 1,0	<u>1,25</u> 1,43	<u>1,5</u> 1,0	<u>1,3</u> 1,06

Примечание: числитель — поверхность, знаменатель — дно.

В 2009 г. также садковое хозяйство не оказывало существенного воздействия на количество легко окисляемой и биохимически лабильной органики. Показатель ПО в зоне садков изменялся в очень узких пределах (11,2—11,9 мгО/л) и практически не отличался от контроля (индекс С 1,1). Величина БПК<sub>5</sub> по вертикали водной массы была практически одинакова (1,56—1,63 мгО<sub>2</sub>/л). Очень слабое воздействие хозяйства на БПК<sub>5</sub> отмечено в придонных слоях воды (индекс С — 1,41). Слабое воздействие

хозяйства отмечено на содержание нитратов в придонных слоях воды (индекс С 1,43) и на содержание минерального фосфора в поверхностных слоях воды (индекс С 1,5).

Слабое воздействие деятельности садкового хозяйства на химический состав водной среды объясняется достаточно строгим соблюдением регламента выращивания рыбы. Ежегодно меняется место размещения садков, что предотвращает накопление отходов хозяйства на небольшой акватории водоема.

#### 4.2. Фитопланктон

Для открытой части Сундозера известно до 24 видов и разновидностей фитопланктона, основу которого составляли диатомовые водоросли. Среди них на протяжении всего периода мониторинга лидировали *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus astraea*, *Tabellaria fenestrata*, *Aulacoseira italica* var. *tenuissima*, *Aulacoseira islandica*, *Fragilaria crotonensis*. В меньшем количестве были представлены зеленые (*Staurastrum planctonicum*, *Elacathotrix lacustris*), золотистые (*Dinobryon sociale*, *Dinobryon divergens*) и пиррофитовые (*Ceratium hirundinella*, *Peridinium* sp.). Количественный состав водорослей в период исследования колебался в значительных пределах. Численность — от 138 тыс. кл./л до 369 тыс. кл./л, биомасса — от 0,29 г/м<sup>3</sup> до 0,65 г/м<sup>3</sup>. Как по численности (до 70 %), так и по биомассе (до 74 %) преобладали диатомовые водоросли.

В 2006 г. видовой состав фитопланктона в зоне садков не отличался от контроля. В его составе преобладали диатомовые водоросли, среди которых доминировали *Stephanodiscus astraea*, *Tabellaria fenestrata*, *Aulacoseira italica* var. *tenuissima*, *Aulacoseira islandica*. Среди других представителей водорослей чаще всего встречались *Staurastrum planctonicum*, *Dinobryon divergens* и др. Средняя численность фитопланктона в зоне садков была 310 тыс. кл./л и несколько меньше контрольных показателей (362 тыс. кл./л). Величина биомассы у садков также была несколько меньше контроля (0,52 г/м<sup>3</sup> и 0,63 г/м<sup>3</sup>) (рис. 24, 25; приложение 7).

Судя по абсолютным количественным показателям и величинам индексов С (по численности 0,97, по биомассе 0,83), негативное воздействие садкового хозяйства отсутствовало (рис. 24—26; приложение 7).

Величина индекса сапробности в зоне хозяйства была несколько выше по сравнению с контролем (рис. 27; приложение 7). Однако это различие было незначительно (1,54 и 1,65) и поэтому качество вод в районе садкового хозяйства оценивается как удовлетворительное.

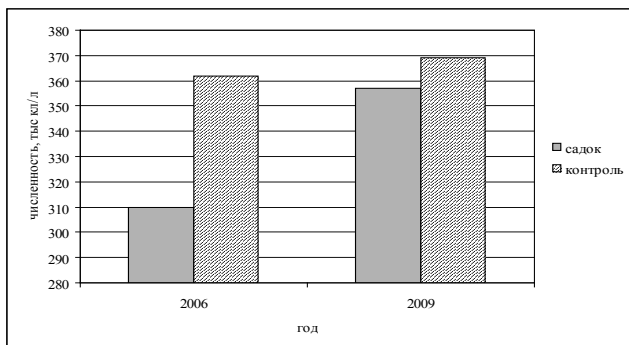


Рис. 24. Численность фитопланктона Сундозера, лето

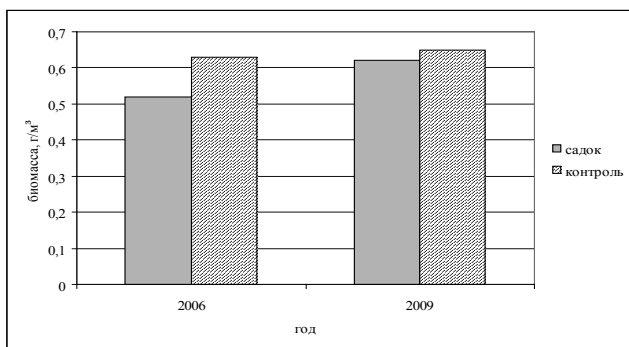


Рис. 25. Биомасса фитопланктона Сундозера, лето

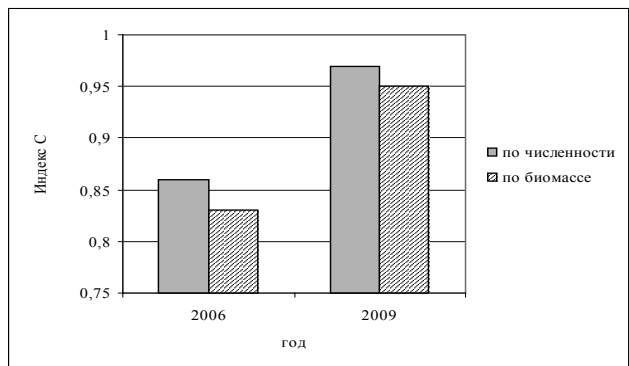


Рис. 26. Индекс С по численности и биомассе фитопланктона Сундозера

В 2009 г. качественный состав водорослей в зоне садков сохранился на прежнем уровне. Лидировали диатомовые, за ними следовали зеленые и синезеленые водоросли. Основу фитопланктона составляли *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus astraea*, *Aulacoseira islandica*, *Staurastrum planctonicum*, *Elacathotrix lacustris*, *Ceratium hirundinella* и др. Количественные показатели фитопланктона также не претерпели существенных изменений. Численность водорослей в зоне садков была 357 тыс. кл./л и в контроле — 369 тыс. кл./л. Показатели биомассы соответственно равнялись 0,62 и 0,65 г/м<sup>3</sup>. Значения индексов С сохранялись в пределах «нормы» (по численности 0,97, по биомассе 0,95). Индекс сапробности практически сохранился на том же уровне (рис. 24—27; приложение 7). Воды Сундозера являются условно чистыми.

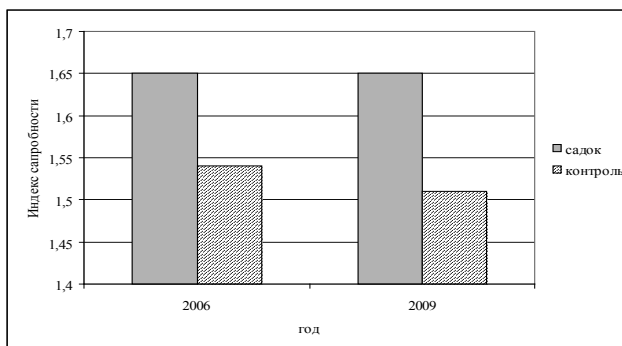


Рис. 27. Индекс сапробности по фитопланктону Сундозера, лето

Сохранение качества природных вод во время функционирования садкового хозяйства и отсутствие его негативного воздействия на водную среду и состояние водорослей есть следствие соблюдения технологического процесса при выращивании товарной рыбы. При этом место размещения садков периодически изменялось, что предупреждало накопление органических веществ в донных отложениях.

### 4.3. Зоопланктон

Всего в составе зоопланктона Сундозера выявлено 27 видов. По видовому разнообразию первое место занимают клadoцеры (11 видов), второе — копеподы (9 видов) и третье — коловратки (7 видов). Доминирующий комплекс водоема представлен следующими видами: *Kellicottia longispina*, *Conochilus unicornis*, *Asplanchna priodonta*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris*, *Bosmina coregoni*, *Bosmina obtusirostris*, *Diaphanosoma brahyurum* и *Daphnia cristata*.

Количественные показатели зоопланктона в природных водах Сундозера в период исследования были достаточно стабильными. Численность зоопланктона колебалась в пределах 10,3—20,6 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса — 0,24—0,29 г/м<sup>3</sup>. По численности доминировали копеподы (58 %) и коловратки (25 %). По биомассе на первом месте были также копеподы (64 %) и кладоцеры (21 %).

В июле 2006 г. в районе садкового хозяйства было выявлено 25 видов зоопланктона, представленного *Rotatoria* — 6, *Copepoda* — 8 и *Cladocera* — 11 видов. Доминировали в это время следующие представители зоопланктона: *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris*, *Bosmina coregoni*, *Bosmina obtusirostris*, *Diaphanosoma brahyurum* и *Daphnia cristata*. В зоне садков количественные показатели были очень высокими. Численность организмов достигала величины 47,1 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса — 0,56 г/м<sup>3</sup>. В контроле эти показатели были 25,9 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,26 г/м<sup>3</sup> соответственно. Основу их по численности и биомассе составляли представители *Copepoda* (64 и 78 %). На втором месте по численности были *Rotatoria* и по биомассе — *Cladocera* (рис. 28, 29; приложение 8).

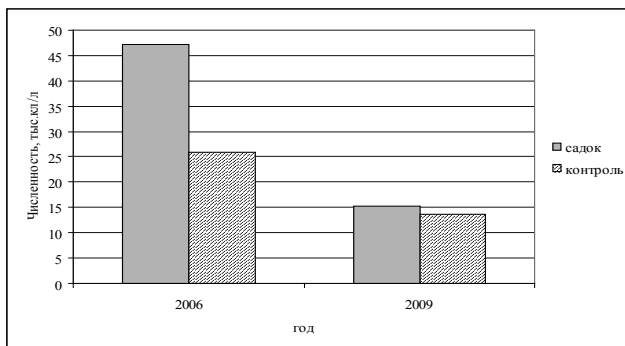


Рис. 28. Численность зоопланктона Сундозера, лето

Анализ абсолютных показателей количественного развития зоопланктона очень убедительно показывает на сильное воздействие садкового хозяйства на эту группу водных беспозвоночных (рис. 28, 29; приложение 8). Еще одним доказательством существования такого воздействия являются также показатели индекса С (по численности 1,81, по биомассе 2,15). О некоторых изменениях статуса водной среды можно судить также по индексу сапробности (рис. 30, 31; приложение 8). В какой-то степени на высокие количественные показатели развития зоопланкто-

на в районе садков могло повлиять накопление в водной среде минерального и общего (органической части) фосфора. Известно также, что садки в этот период (2005—2006 гг.) в течение 2 лет не перемещались.

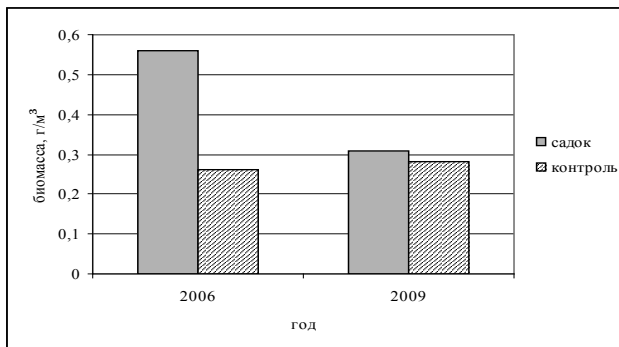


Рис. 29. Биомасса зоопланктона Сундозера, лето

В 2009 г. в зоне садкового хозяйства видовой состав зоопланктона увеличился до 27 видов [*Rotatoria* (7), *Copepoda* (9) и *Cladocera* (11)]. Доминирующий комплекс был представлен следующими видами: *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Eurytemora lacustris*, *Bosmina coregoni*, *Bosmina obtusirostris*, *Bosmina coregoni*, *Diaphanosoma brahyurum* и *Daphnia cristata*. Количественные показатели состояния зоопланктона у садков сократились почти в 2 раза по сравнению с 2006 г. Численность зоопланктона была в среднем 16,85 тыс. экз./м³ и биомасса — 0,34 г/м³. В контроле численность организмов также сократилась почти в 2 раза, а биомасса сохранилась практически на прежнем уровне (рис. 28, 29; приложение 8). По-видимому, на численность и видовой состав зоопланктона повлияли низкие температуры воды. Лето этого года было холодное. Совершенно не проявилось воздействие садкового хозяйства на планктонные организмы. Индекс С был по численности 1,12 и по биомассе 1,11, т. е. в пределах нормы (рис. 30; приложение 8). Кроме природных факторов отсутствие негативного влияния хозяйства на зоопланктон обусловлено также ежегодным перемещением садков по акватории водоема. Отсутствие перемещения садков в 2005—2006 гг. привело к усилению воздействия хозяйства на окружающую среду (в том числе на зоопланктон) и, как следствие, вызвало значительное увеличение гибели выращиваемой рыбы. Индекс сапробности в 2009 г. в районе садков снизился до 1,59 и в контроле — до 1,60 (рис. 31; приложение 8).

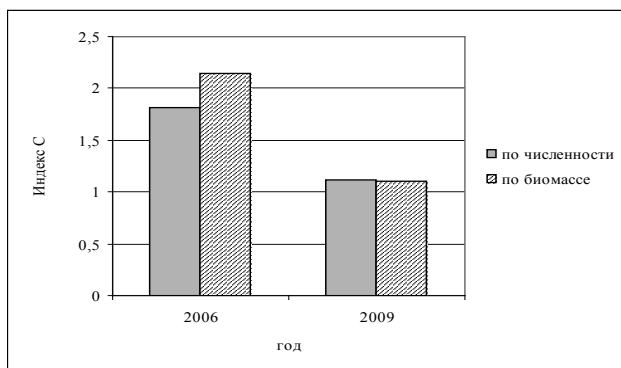


Рис. 30. Индекс С по численности и биомассе зоопланктона Сундозера

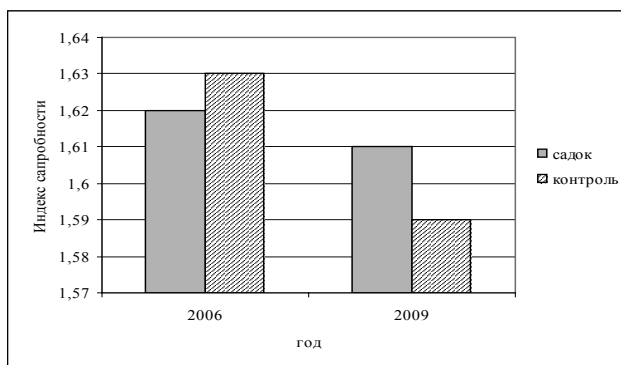


Рис. 31. Индекс пригодности по зоопланктону Сундозера, лето

#### 4.4. Макрозообентос

В период исследования видовой состав макрозообентоса Сундозера был представлен 18—20 видами и формами. Наиболее разнообразен состав хирономид (до 13 таксонов), среди них чаще встречались *Cladotanytarsus mancus*, *Tanytarsus gregarius* и *Procladius Skuze*. Меньшее разнообразие отмечено для олигохет (до 4 таксонов) и нематод (до 2 таксонов).

В количественном отношении также преобладали хирономиды, достигавшие по численности и по биомассе 53—55 %. Численность олигохет в период исследования не превышала 26 % и биомасса — 36 % от общих величин количественного состава. Общая численность донных организмов колебалась в пределах 200—380 экз./м<sup>2</sup> и биомасса — от 0,22 до 0,56 г/м<sup>2</sup>.

В 2006 г. в районе садков было выявлено 20 видов и форм макрозообентоса, среди которых преобладали личинки хирономид (13 таксонов), среди них преобладали *Procladius* sp., *Cladotanitarsus mancus*, *Tanytarsus gregarius*.

В зоне садков средняя численность макрозообентоса была 260 экз./м<sup>2</sup>, биомасса — 0,80 г/м<sup>2</sup>. В контроле количественные показатели макрозообентоса были несколько меньше, по численности на 23 % и по биомассе на 30 % (рис. 32, 33; приложение 9). По биомассе у садков преобладали моллюски (67,5 %), а в контроле — олигохеты (78,6 %). Судя по количественным показателям, садковое хозяйство оказывает воздействие на численность и биомассу макрозообентоса. Об уровне этого воздействия можно судить по величинам индекса С. По численности индекс С равен 1,3, а по биомассе — 1,33, т. е. воздействие садков на донную фауну весьма слабое и негативного характера не имеет (рис. 34; приложение 9).

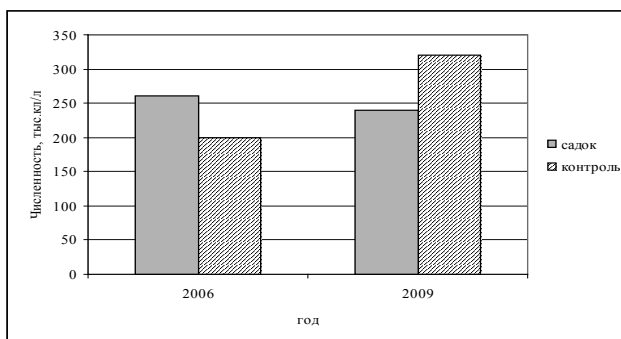


Рис. 32. Численность макрозообентоса Сундозера, лето

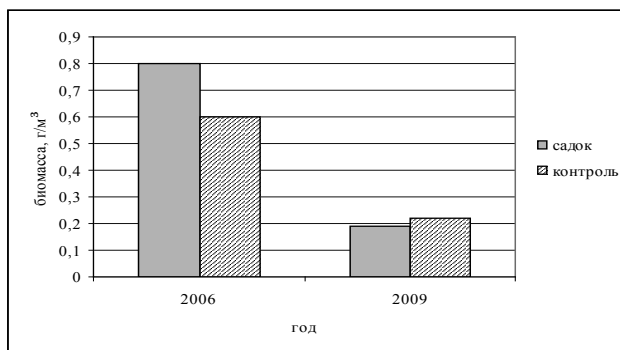


Рис. 33. Биомасса макрозообентоса Сундозера, лето

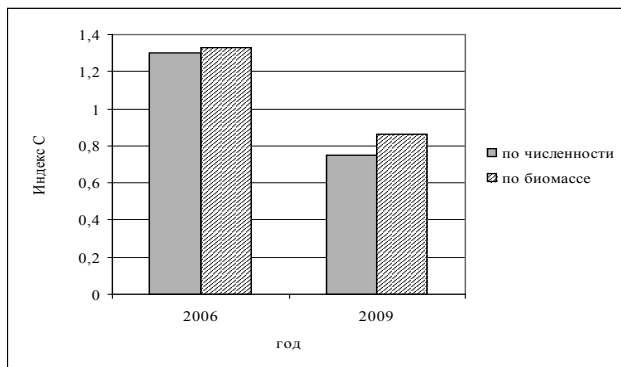


Рис. 34. Индекс С по численности и биомассе макрозообентоса Сундозера

Индекс сапробности между контролем и садками по величине различался незначительно (рис. 35; приложение 9).

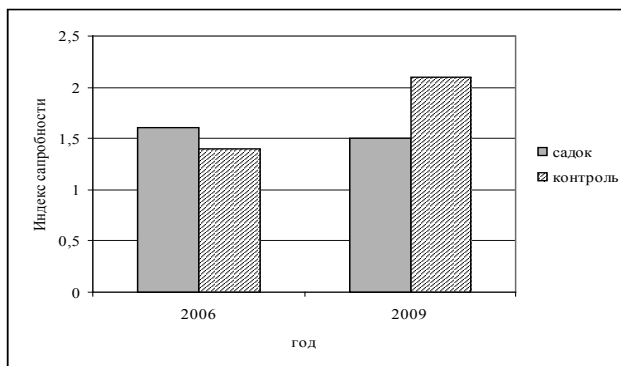


Рис. 35. Индекс сапробности по макрозообентосу Сундозера, лето

В 2009 г. в районе садков было выявлено 18 таксонов, среди которых доминировали также хирономиды, составлявшие 51 % по численности и 32 % по биомассе от общей массы донных организмов. Таксономическое разнообразие определяли 11 видов и форм хирономид, среди них преобладали *Procladius* sp., *Cladotanytarsus mancus*, *Tanytarsus gregarius*. Общая численность донных организмов в зоне садков равнялась 240 экз./м<sup>2</sup> и биомасса — 0,19 г/м<sup>2</sup>. В контроле оба исследуемых показателя оказались несколько выше (особенно по численности) по сравнению с садками (рис. 32, 33; приложение 9). Как в зоне садков, так и в кон-

троле по количественным показателям преобладали хирономиды (до 54 %), за ними следовали олигохеты (до 36 %). Численность и биомасса моллюсков были минимальные.

Функциональная деятельность садкового хозяйства оказала в этом году угнетающее воздействие на общее состояние донной фауны, однако, как следует из показателей индекса С, это действие в целом незначительное и не носит четко выраженного негативного характера (рис. 34; приложение 9). Что касается сапробности, то состояние вод около садков и в контроле было различным. Индекс сапробности у садков был 1,5, а в контроле — 2,1 (рис. 35; приложение 9). Как уже отмечалось, изменения в составе донных организмов и состоянии водной среды может быть следствием различных сроков перемещения садков.

Таким образом, негативного воздействия хозяйства на донную фауну не было обнаружено. Даже двухлетнее размещение в 2006 г. садков на одном месте практически не отразилось на формировании донной фауны. Индекс С был равен 1,3, т. е. его величина еще находилась в пределах «нормы» (рис. 35; приложение 9). Очевидно, для формирования донной фауны требуется более длительное время по сравнению с зоопланктоном.

#### 4.5. Биотестирование

Изучение качества воды в районе садков показало, что в течение летнего периода она была витальной по основным тестируемым показателям. Жизнеспособность подопытных не нарушалась на протяжении всего хронического исследования, продукция и рост самок были сопоставимы с контролем, процессы ово- и эмбриогенеза, а также физиологическое состояние (активность питания, уровень депонирования жиров, окраска тела) соответствовали биологической норме. Реальная плодовитость колебалась относительно контроля недостоверно в пределах 31,0—37,9 экз./на самку. Варьирование линейных размеров относительно контроля было допустимым и составляло  $\pm 1$  %. Физиологическое состояние рачков соответствовало норме для *Daphnia magna* — окраска тела оценивалась в 2 балла, депонирование жира соответствовало 2 баллам, степень наполнения кишечника — 4—5 баллам, нарушений репродукционных процессов не отмечали. Таким образом, с экологотоксикологических позиций по тесту «*Daphnia magna*» качество воды в районе садков может быть признано удовлетворительным.

#### 4.6. Рыбы

В Сундозере обитают ряпушка, сиг, корюшка, щука, плотва, елец, язь, уклея, лещ, налим, окунь и ёрш. Промысловое значение имеют ряпушка, щука, лещ, налим, ёрш, корюшка, уклея, окунь и плотва. В меньших количествах ловятся елец и язь, очень редко залавливаются сиг. Осенью в больших количествах ловят ряпушку (улов на 1 ставную сеть за ночь достигает 8 кг), летом уловы значительно сокращаются (не больше 1 кг). Средняя масса ряпушки 16 г при длине 12,0 см. Щука встречается весом до 16 кг. Елец в уловах преобладает в возрасте 3—4 лет при длине 13—14,0 см. Лещ может достигать массы 4 кг (по опросным данным). Размеры плотвы от 23—130 г при длине 11,2—19,7 см. Окунь может достигать массы 2 кг, но в уловах преобладают особи от 12 до 600 г при длине от 9,5 до 32,0 см. Сундозеро может быть отнесено к типу ряпушково-сиговых озер.

В районе садков в наших уловах присутствовали в больших количествах окунь и ёрш. Лещ подходил к садкам, вероятно привлеченный обилием кормовых организмов.

Обобщая результаты двухлетнего мониторинга Сундозера, следует отметить, что доминирующие комплексы организмов фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса, видовой состав и уровень их развития в районе садков заметно не отличались от контроля и других исследованных участков. Полученные индексы сапробности характеризуют водные массы в районе форелевого хозяйства как олиго-*b*-мезосапробные или переходные от чистых к умеренно загрязненным. Это значит, что качество воды Сундозера в районе функционирования садковых хозяйств по всем гидробиологическим показателям можно оценить как удовлетворительное.

Данное заключение хорошо подтверждается результатами оценки биологического качества воды Сундозера методом биотестирования. В летний период все основные параметры тестирования воды соответствовали биологической норме *Daphnia magna* и по своим значениям были близки к контрольным показателям.

## Глава 5. Озеро Коткозеро

Коткозеро расположено в Южной части Карелии. Относится к бассейну Ладожского озера. Общая площадь 4,9 км<sup>2</sup>. Озеро вытянуто с севера на юг, характеризуется слабо развитой береговой линией (14,1 км, с островами 19,3 км), наибольшая длина 6,8 км, ширина 1,2 км. Средняя глубина 11,2 м, наибольшая — 30,0 м. Преобладают высокие каменисто-песчаные берега. Дно в основном ровное, без значительных перепадов глубин. С 3—5-метровой глубины распространен однородный зеленовато-серый ил, которым занято до 90 % площади дна озера. Высшая водная растительность, представленная в основном хвощом, развита слабо. Главный приток Коткозера река Гошкиланьёки. Сток из озера осуществляется через протоку в Виллальское озеро, из него через реку Олонка в Ладожское озеро (Каталог озер и рек Карелии, 2001).

Гидрохимический режим и фитопланктон озера исследовались дважды, в 2008 и 2010 гг. Зоопланктон и макрозообентос исследовались только в 2008 г., а рыба — в течение трех лет (2008—2010 гг.).

### 5.1. Гидрохимический режим

Коткозеро — холодноводный водоем. Прозрачность воды 1,1—1,9 м, оттенок светло-коричневый. Цветность вод летом высокая, в большинстве случаев ее величина колеблется в пределах 176—196 градусов. В 2010 г. в придонных слоях воды цветность достигала даже 320 градусов. Активная реакция вод близка к нейтральной. Величина рН на всех станциях, в том числе и непосредственно у садков, в период исследования изменялась в пределах 7,00—7,05 у поверхности и 6,65—6,90 у дна. Содержание растворенного в воде кислорода в районе садков составляло на поверхности 6,7—7,0 мг/л и у дна 5,9—6,1 мг/л. В целом газовый

режим озера благоприятный. По гидрохимическим характеристикам Коткозера можно отнести к дистрофированным водоемам.

В 2008 г. содержание легкоокисляемых (ПО) и биохимически лабильных органических веществ БПК<sub>5</sub> как у садков, так и в контроле было несколько повышено. Воздействие садкового хозяйства на эти показатели отсутствовало. Индекс С колебался в пределах нормы (0,82—1,07). Слабое воздействие хозяйства на эти показатели было отмечено лишь в 2010 г. в поверхностном слое воды, индекс С увеличился до 1,38 (табл. 6). Этот год отличался очень жарким летом. Наличие воздействия хозяйства на содержание аммонийного азота и общего фосфора в 2008 г. было отмечено лишь в придонных слоях. Индекс С был выше 1,3 и ниже 0,8. В 2010 г. аналогичное явление наблюдалось с нитратами и фосфором (см. табл. 6). В целом же значения химических параметров озерных вод как у садков, так и в контроле не превышали уровень рыбохозяйственных нормативов. Отмеченные же слабые воздействия хозяйства на отдельные компоненты органических веществ являются первым сигналом о необходимости обратить внимание на технологию производства рыбной продукции.

Таблица 6

**Содержание органических компонентов в воде Коткозера  
(Отчеты о НИР, 2008, 2010)**

Годы	Станция	ПО, мгО/л	БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /л	NH <sub>4</sub> , мгN/л	NO <sub>2</sub> , мгN/л	NO <sub>3</sub> , мгN/л	P <sub>мин</sub> , мгP/л	P <sub>общ</sub> , мгP/л
2008	Садки	27,0	1,31	0,22	0,005	0,13	0,020	0,024
		27,2	1,39	0,37	0,006	0,25	0,043	0,050
	Контроль	26,2	1,56	0,23	0,005	0,14	0,022	0,034
		25,5	1,70	0,26	0,006	0,21	0,050	0,072
	Индекс С	1,03	0,84	0,96	1,0	0,93	0,91	0,71
		1,07	0,82	1,42	1,0	1,19	0,86	0,69
2010	Садки	19,5	1,8	0,26	0,003	0,11	0,013	0,020
		18,6	0,7	0,42	0,003	0,22	0,056	0,056
	Контроль	18,9	1,3	0,19	0,003	0,08	0,010	0,012
		23,0	0,8	0,42	0,0046	0,31	0,034	0,034
	Индекс С	1,03	1,38	1,37	1,0	1,37	1,3	1,67
		0,81	0,87	1,0	0,75	0,71	1,65	1,65

## 5.2. Фитопланктон

В 2008 г. было обнаружено 24 вида и разновидности водорослей, среди них диатомовые — 19 таксонов, синезеленые — 3 и зеленые — 2 таксона. В 2010 г., несмотря на жаркое лето, было выявлено лишь 15 систематических групп (диатомовые — 12, зеленые — 3). Лидировали на протяжении всего периода исследований диатомовые. Массовыми видами являлись *Aulacoseira italica* var. *tenuissima*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira islandica*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis*. Из зеленых были отмечены *Oocystis borgeii*, *Ankistrodesmus pseudomirabilis*.

Прежде всего, следует отметить, что жаркий 2010 г. очень сильно сказался на численности и биомассе фитопланктона (рис. 36, 37; приложение 10). В контроле численность увеличилась в 8,8 и биомасса — в 4,9 раза. В районе садков это увеличение составило 10,9 и 5,2 раза соответственно. Такое соотношение вполне закономерно. В районе садков содержание органических компонентов было несколько больше по сравнению с контролем (табл. 6).

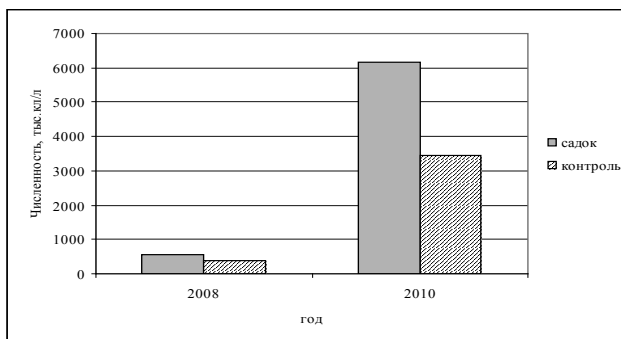


Рис. 36. Численность фитопланктона Коткозера, лето

Судя по величине индексов С, функционирование садкового хозяйства оказывало воздействие в основном на численность водорослей. Индекс С был значительно выше нормативных показателей (1,45—1,79). На биомассу это воздействие было значительно слабее, индекс С 1,36 (рис. 38; приложение 10). Такая ситуация вполне возможна, так как изменился видовой состав организмов, сократилось число видов.

Индекс сапробности был повышенный в 2008 г. (1,91—1,93) и пониженный в 2010 г. (1,4). В целом же, учитывая трофность водоема и высокую цветность воды, ее качество было удовлетворительным для фитопланктона (рис. 39; приложение 10).

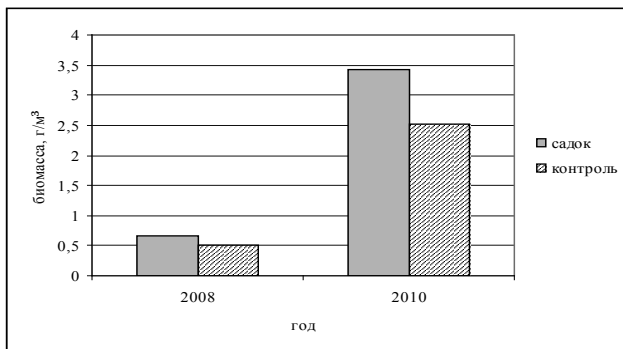


Рис. 37. Биомасса фитопланктона Коткозера, лето

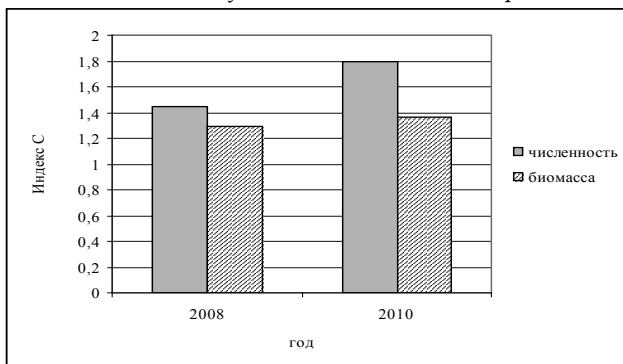


Рис. 38. Индекс С по фитопланкtonу Коткозера, лето

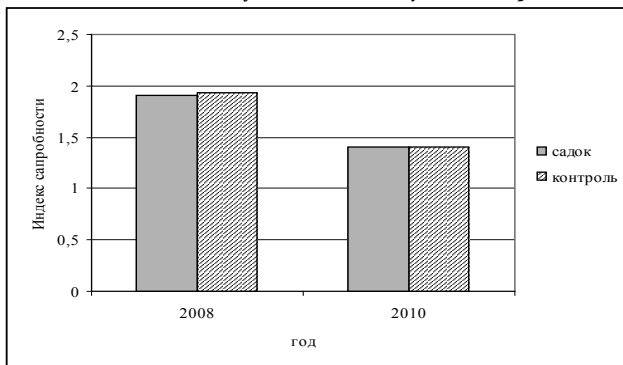


Рис. 39. Индекс сапробности по фитопланкtonу Коткозера, лето

### 5.3. Зоопланктон

В составе зоопланктона Коткозера в летний период 2008 г. обнаружено 27 видов, в том числе *Rotatoria* — 10 видов, *Copepoda* — 4 вида и *Cladocera* — 13 видов. Доминировали коловратки (37 %) и веслоногие ракообразные (48 %). В видовом аспекте основу планктонного комплекса составляли *Kellicottia longispina*, *Polyarthra euryptera*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis*, *Diaphanosoma brahuyurum* и *Daphnia cristata*.

Количественные показатели развития зоопланктона в 2008 г. у садков были почти в 2 раза больше по сравнению с контролем. Численность и биомасса зоопланктона у садков составили 18,69 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,20 г/м<sup>3</sup>, а в контроле — 8,83 и 0,11 г/м<sup>3</sup> соответственно (табл. 7).

Рассматривая полученные результаты, есть основания отметить, что уровень воздействия садкового хозяйства на численность зоопланктона можно оценить как средний (индекс С 2,1), а на биомассу — как слабый (индекс С 1,8) (см. табл. 7). Это значит, что необходимо более тщательно следить за соблюдением технологии производства рыбной продукции и не допускать попадания большого количества органики в водную среду.

Таблица 7

**Количественные показатели динамики зоопланктона Коткозера в летний период (Отчет о НИР, 2008)**

Год	Станции	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Индекс сапробности
2008	Садки	18,69	0,20	1,68
	Контроль	8,83	0,11	1,66
	Индекс С	2,1	1,8	—

### 5.4. Макрозообентос

Донная фауна Коткозера в летний период 2008 г. была качественно бедна и представлена тремя группами беспозвоночных животных (*Chironomidae*, *Culicidae*, *Oligochaeta*), которые являются постоянными компонентами исследованных ценозов.

В количественном отношении преобладали личинки хаборуса, они составляли 22—89 % общей численности и 27—94 % общей биомассы бентоса. Заметное место в донной фауне озера занимали хирономиды (11—44 % численности; 5—64 % биомассы), среди них доминировали личин-

ки *Chironomus* sp. и *Procladius* *Skuze*. Олигохеты играли второстепенную роль. Их доля в формировании общей численности (до 14 %) и биомассы (до 5 %) бентоса исследованного района невелика. Непосредственно под садками олигохеты составляли 67 % численности и 33 % биомассы. Из приведенных в таблице 8 материалов следует, что функционирование садкового хозяйства угнетает развитие донной фауны. В 2008 г. под садками численность и биомасса бентоса в 2,5 раза были меньше контрольных показателей. Об уровне воздействия можно судить по величинам индекса С, которые по численности равнялись 0,43 и по биомассе — 0,40. При съемке в 2010 г. непосредственно под садками донные организмы были представлены единично.

Таблица 8

**Количественная характеристика макрозообентоса Коткозера, лето  
(Отчет о НИР, 2008)**

Год	Станции	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс сапробности
2008	Садки	180	0,34	2,5
	Контроль	420	0,84	2,5
	Индекс С	0,43	0,40	—

По индикаторным видам зоопланктона воды озера в районе форелевого хозяйства можно оценить как олиго-*b*-мезосапробные, по индикаторным видам фитопланктона и макрозообентоса — как *b*-мезосапробные. По качеству воды по всем гидробиологическим показателям можно считать как очень слабозагрязненные. Это подтверждается результатами интегральной оценки качества водной среды, полученными при биотестировании. Вода в районе хозяйства обладает низкой биокондичией, оказывает ингибирующее (угнетающее) влияние на тест-параметры индикаторного организма (*Daphnia magna*).

### 5.5. Рыбы

В Коткозере обитают 15 видов рыб: промысловые — корюшка, щука, плотва, лещ, судак, окунь, ёрш, налим и уклея; непромысловые — озерный лосось, озерно-речная форель, ручьевая форель, язь, густера и подкаменщик.

Корюшка является массовой рыбой. Весной во время нереста вылавливается в значительном количестве. По размерам близка к онежской корюшке.

Многочисленная укляя встречается на всех участках озера. Нерестилища уклей расположены от устья р. Гошкиланъёки до д. Лахта. Нерестится укляя на песчано-каменистых грунтах, на глубине до 1 м. Половозрелость наступает в возрасте 3—4 лет. Достигает длины до 10,5 см, массы до 12 г. В уловах во время нереста встречались особи от 2 до 8 лет, основу составляли четырехлетки.

Лещ распространен по всему озеру, но в наибольших количествах встречается в северной и южной его частях. Нерестится в северной и южной частях озера, у берегов и на лудах с наличием водной растительности, при температуре воды 13,9—16°. Массовый нерест происходит приблизительно с 22 по 29 июня. Часть леща на нерест из Коткозера уходит в озеро Виллальское. Половозрелость наступает в возрасте 8—10 лет при длине тела 19—22 см и массе 190—220 г. Основными объектами питания леща являются хириноиды, хаоборус, меньше моллюски. В сетных уловах встречаются лещи от 6 до 19 лет, преобладают 8—16-летки. Лещ может быть промысловым объектом.

Окунь широко распространен в озере. В летнее время концентрируется на лудах. В сетных уловах встречались особи от 3 до 12 лет. В возрасте 3 лет окунь достигает 10,6 см и массы 27 г. Необходимо усилить вылов окуня, чтобы создать более благоприятные условия существования судаку и лещу.

Судак распространен по всему озеру. Нерест его начинается в конце июня при температуре воды 12—14°. Нерестится судак на лудах в северном и южном районах озера, на глубине от 2 до 8 м. После нереста держится на открытых участках озера, где обитает корюшка, составляющая основу его питания. Половозрелость судака наступает в возрасте 6—7 лет (самцы) и 7—8 лет (самки). Плодовитость от 34 до 323 тыс., чаще 60—80 тыс. икринок. Вылавливали судака размером до 35 см и массой 800 г.

В районе садков в 2008 г. нами были отмечены массовые подходы леща, окуня, ерша, плотвы и уклей. Плотва встречалась в возрасте от 2+ до 6+ лет. Причем самцы представлены только двумя возрастными группами — 2+—3+. Соотношение полов было значительно смещено в сторону самок 8,5:1 (89,5 % и 10,5 %). Размеры плотвы были в пределах 13,17—17,40 см и 19,2—50,5 г.

## Глава 6. Река Суна

Река Суна является озерно-речной системой, в состав которой входит 20 озер, вытекает из озера Кивиярви и впадает в Кондопожскую губу Онежского озера у села Янишполе. Общая длина реки 280 км, падение от истока до устья 325 м при среднем уклоне 1,16 %. Порожистые участки чередуются с длинными плесами. Преобладающая ширина поймы реки 120—250 м, наименьшая — 5 м (в 0,5 км выше д. Кивач). Годовой сток составляет 2,24 млрд. м<sup>3</sup>.

В отличие от садковых хозяйств, размещенных в основном в озерах с ветровым перемешиванием водных масс, хозяйство в р. Суна расположено на течении в прибрежном участке реки при постоянном обмене воды. Представляет интерес исследовать функционирование садкового хозяйства при постоянной смене воды в садках и его воздействию на водные массы и биоту ниже садкового хозяйства.

### 6.1. Гидрохимические исследования

В летний период величина рН речных вод в районе садков была одинаковой по всей толще воды (6,35—6,40) и практически не отличалась от соответствующих показателей на других станциях, расположенных как выше по течению (6,20—6,45), так и ниже хозяйства (6,40—6,45). Деятельность хозяйства не оказывала влияния и на кислородный режим водной среды. Содержание растворенного в воде кислорода на всем исследованном участке реки изменялось от 6,55 до 7,32 мгО<sub>2</sub>/л. Летом величина цветности как в районе садков, так и на станциях, удаленных от них, колебалась в узких пределах: от 144 до 168 градусов.

Величины перманганатной окисляемости, косвенно указывающие на содержание легкоокисляемого органического вещества, во всех исследованных пробах воды находились практически на одном уровне (26,0—

28,2 мгО<sub>2</sub>/л). Количество биохимически лабильной органики летом в речных водах незначительно варьировало в зависимости от места отбора проб. Значения БПК<sub>5</sub> непосредственно у садков были 1,62 мгО<sub>2</sub>/л на поверхности и 1,31 мгО<sub>2</sub>/л у дна, в контроле, расположенном выше фермы, — 0,51—0,60 мгО<sub>2</sub>/л на поверхности и 0,56—0,93 мгО<sub>2</sub>/л у дна и на станциях ниже фермы по течению показатели БПК<sub>5</sub> составляли 0,48 и 1,23 мгО<sub>2</sub>/л соответственно. Во всех исследованных пробах значения БПК<sub>5</sub> не превышали ПДК р/х (2,0 мгО<sub>2</sub>/л). Однако, судя по величине индекса С, влияние садков на содержание биохимически лабильной органики проявлялось по всей водной толще (табл. 9). Это, скорее всего, следствие выделения рыбами жидких конечных продуктов метаболизма. Ниже по течению уровень воздействия постепенно сокращался за счет разбавления водных масс чистой водой мелких притоков. Придонные воды менее подвижны и слабее разбавляются. Содержание минеральных форм азота и фосфора в поверхностных водах р. Суны в летний период было практически однородным на всех исследованных участках и хозяйство не оказывало негативного воздействия. Аммонийный азот обнаруживался в концентрациях 0,08—0,10 мгN/л, нитритный — 0,009—0,009 мгN/л и нитратный — 0,06—0,09 мгN/л. Содержание минерального фосфора колебалось в пределах 0,006—0,008 мгP/л и общего — 0,010—0,012 мгP/л. Величина индекса С хотя изменялась, но сохранялась в пределах 0,8—1,2 (норма). В придонных слоях воды отмечено некоторое увеличение содержания минерального фосфора, индекс С у садков 1,5 и ниже по течению — 1,33 (см. табл. 9).

Таблица 9

**Содержание органических компонентов в воде реки Суна  
(Отчет о НИР, 2009)**

<i>Станции</i>	<i>ПО, мгО/л</i>	<i>БПК<sub>5</sub>, мг О<sub>2</sub>/л</i>	<i>NH<sub>4</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>2</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>3</sub>, мгN/л</i>	<i>P<sub>мин.</sub>, мгP/л</i>	<i>P<sub>общ.</sub>, мгP/л</i>
Садки	<u>27,6</u>	<u>1,62</u>	<u>0,08</u>	<u>0,009</u>	<u>0,09</u>	<u>0,006</u>	<u>0,010</u>
	28,2	1,31	0,10	0,009	0,06	<u>0,009</u>	0,016
Контроль	<u>27,0</u>	<u>0,60</u>	<u>0,08</u>	<u>0,009</u>	<u>0,07</u>	<u>0,007</u>	<u>0,010</u>
	26,0	0,56	0,08	0,008	0,07	0,006	0,014
Индекс С	<u>0,99</u>	<u>2,7</u>	<u>1,0</u>	<u>1,0</u>	<u>1,29</u>	<u>0,86</u>	<u>1,0</u>
	<u>1,08</u>	2,3	0,8	1,12	0,86	1,5	1,14
Ниже садков (100 м)	<u>26,7</u>	<u>0,48</u>	<u>0,10</u>	<u>0,009</u>	<u>0,06</u>	<u>0,008</u>	<u>0,012</u>
	25,8	1,23	0,09	0,009	0,09	0,008	0,020
<u>НС</u>	<u>0,97</u>	<u>0,30</u>	<u>1,25</u>	<u>1,0</u>	<u>0,67</u>	<u>1,33</u>	<u>1,20</u>
С	0,91	0,94	0,9	1,0	1,5	0,89	1,25

Примечание: в числителе — поверхность, в знаменателе — дно.

Более наглядно об изменениях химического состава воды, протекающей через садки, можно судить по станции, размещенной в 100 м ниже садков. Для этого мы рассчитали соотношение между данными, полученными ниже садков (НС) и у садков (С). В поверхностных водах отмечено некоторое увеличение содержания аммонийного азота (НС/С — 1,25) и минерального фосфора (НС/С — 1,33). В придонных слоях воды увеличились нитраты (НС/С — 1,5) и общий фосфор (НС/С — 1,25) (см. табл. 9). Эти изменения могут быть обусловлены вертикальными изменениями потока воды. Для более глубокого анализа возможных воздействий садкового хозяйства в реках требуются дополнительные исследования.

Таким образом, полученные результаты показали, что форелевое хозяйство, расположенное на реке Суна в районе Гирвасской плотины, по химическим параметрам не оказывает негативного влияния на качество вод реки. Незначительные отклонения величины С от нормы не носят негативного характера, но обращают внимание соответствующих служб на необходимость строжайшего контроля за состоянием водной среды в районе садков. В целом же показатели химического состава вод в районе садков вполне соизмеримы с соответствующими значениями на всем исследованном участке реки и не превышали нормативных уровней, установленных для рыбохозяйственных водоемов.

## 6.2. Фитопланктон

Состав фитопланктона в районе садкового хозяйства представлен диатомовыми, золотистыми, пиррофитовыми, зелеными и синезелеными водорослями. Доминировали диатомовые водоросли, среди которых массовыми видами являлись *Aulacoseira italica var. tenuissima*, *Aulacoseira italica*, *Aulacoseira islandica*, *Tabellaria fenestrata*. Единично встречались представители родов *Navicula*, *Stephanodiscus*, *Nitzshia*. Среди золотистых отмечены *Mallomonas caudate*, *Kephyrion cupuliformes*, *Dinobryon sociale* и *Dinobryon suecicum*. Из пиррофитовых зарегистрирован *Glenodinium quadridens*, из синезеленых — *Anabaena lemmermannii*. Зеленые были представлены *Euastrum binale*, *Scenedesmus acuminatum*.

Уровень количественного развития фитопланктона р. Суна был невысоким, максимальная численность в районе садков составила 160 тыс. кл./л при максимальной биомассе 0,193 г/м<sup>3</sup>. Минимальная численность (102 тыс. кл./л) и биомасса (0,107 г/м<sup>3</sup>) отмечены ниже садков по течению на расстоянии 100 м (табл. 10). Эти сведения подтверждают возможность рассеивания любого компонента водной среды в потоке воды.

Таблица 10

**Количественная характеристика развития фитопланктона р. Суна, лето**

Станции	Численность, тыс. кл./л	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Индекс сапробности
Садки	160	0,193	1,69
Контроль	133	0,177	1,94
Индекс С	1,20	1,09	—
Ниже садков (100 м)	102	0,107	2,03
НС/С	0,64	0,55	—

Негативное влияние садков на количественные показатели фитопланктона практически отсутствует. Индексы С колеблются в пределах нормы (см. табл. 10). Через 100 м ниже садков по течению численность (в 1,5 раза) и биомасса (в 2 раза) существенно сокращаются. Это подтверждается также вычисленными коэффициентами НС/С (см. табл. 8). Судя по величине индекса сапробности, воды р. Суна до садков относятся к категории чистых, а после садков — слабочистых для фитопланктона.

Следовательно, полученные данные характеризуют воды района садков и выше расположенных станций как равные по уровню развития фитопланктона. Некоторое увеличение показателей в районе садков является незначительным и не превышает средние значения более чем на 24 %. Станции, расположенные ниже по течению и подверженные воздействию рыбоводных садков, имеют более низкие показатели развития фитопланктона. Низкий общий уровень численности и биомассы водорослей также свидетельствует об отсутствии явного влияния садков на развитие водорослей р. Суна. Воды р. Суна в районе исследования относятся к категории удовлетворительно чистых, а в целом река является β-мезосапробным водоемом.

### 6.3. Зоопланктон

Видовой состав зоопланктона р. Суна в районе форелевого хозяйства в летний период 2009 г. представлен 25 видами: *Rotatoria* — 8, *Copepoda* — 5 и *Cladocera* — 12 видов. Наиболее массовыми видами зоопланктона были *Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*, *Conochilus unicornis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Bosmina obtusirostris*, *Holopedium gibberum* и *Daphnia cristata*.

В исследованном районе среди ветвистоусых преобладал рачок *Holopedium gibberum* (до 52 %), среди коловраток — *Kellicottia longispina* (до 36 %), среди веслоногих ракообразных — *Thermocyclops oithonoides* (до 48 %).

Численность коловраток у садков была на 17 % больше по сравнению с контролем. Численность же ракообразных, наоборот, у садков была на 8—10 % ниже контроля. Биомасса ракообразных в зоне садков также была более высокой по сравнению с контролем (на 6—8 %). После садков существенно сократились количественные показатели коловраток (в 1,2—1,4 раза). Веслоногие же увеличились по численности в 1,7 раза и по биомассе — в 1,3 раза. Количественные показатели ветвистоусых сохранились на уровне развития их в районе садкового хозяйства.

Общая численность зоопланктона у садков была 16,6 тыс. экз./м<sup>3</sup> и биомасса составляла 0,18 г/м<sup>3</sup>, соответственно эти показатели в контроле равнялись 13,4 и 0,13 (табл. 11).

Таблица 11

**Количественные показатели зоопланктона р. Суна, лето**

<i>Станции</i>	<i>Численность, тыс. экз./м<sup>3</sup></i>	<i>Биомасса, г/м<sup>3</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
Садки	16,6	0,18	1,60
Контроль	13,4	0,13	170
Индекс С	1,24	1,38	—
Ниже садков (100 м)	18,52	0,31	1,69
НС/С	1,12	1,72	—

Влияние садкового хозяйства проявилось достаточно четко. Индекс С превысил верхний предел нормы. Однако это еще не является негативным (влияние от слабого до умеренного). По численности зоопланктона он равнялся 1,24 и по биомассе — 1,38. По индексу сапробности воды р. Суна удовлетворительного качества для планктонных организмов.

Ниже садков по течению количественные показатели зоопланктона несколько возросли (численность на 12 %, а биомасса даже на 72 %). Это значит, что возросло относительное количество крупных организмов. Объяснение этому явлению может быть дано после проведения специальных исследований.

Таким образом, результаты исследования показали, что в настоящее время влияния форелевого хозяйства на уровень развития зоопланктона р. Суна не наблюдается.

#### 6.4. Макрозообентос

Донная фауна р. Суна в районе форелевого хозяйства представлена 16 таксонами (группы *Chironomidae*, *Oligochaeta*, *Gastropoda*, *Bivalvia*, *Trichoptera*, *Hirudinea*, *Diptera*, *Nematoda*).

Основу бентоса в районе садков, так же, как и на удаленных от них участках, составляли олигохеты и личинки хирономид. На долю олигохет приходилось 23—79 % численности и 14—79 % биомассы донного населения. Доминировали среди них мелкие формы. Наиболее высокая плотность червей отмечена на участке реки в районе садков (640 экз./м<sup>2</sup>). Хирономиды составляли 14—62 % численности и 5—57 % биомассы бентоса. Всего обнаружено 8 видов и личиночных форм, среди которых чаще встречались *Limnochironomus nervosus* и *Ortocladius* sp.

Из других групп следует отметить двустворчатых моллюсков (*p. Pisidium*), на отдельных участках реки они составляли до 20 % численности и 40 % биомассы бентоса. Встречены также гастроподы, пиявки, нематоды, личинки ручейников и двукрылых, которые играли второстепенную роль.

Абсолютная численность донных организмов у садков в 7 раз превышала контрольные показатели, а биомасса была выше контрольной всего лишь на 15 % (табл. 12). Это довольно интересное соотношение численности и биомассы является следствием различного видового состава донных организмов. Например, в контроле и у садков доля хирономид по численности была почти равной (14,3—15,3 %), а их биомасса различалась в 5,3 раза (4,9 и 26,1 %). Аналогичные, но в меньшей степени изменения свойственны и представителям олигохет. Доля их численности в контроле была 78,6 %, а биомасса — 75,4 % от общей величины соответствующих количественных показателей. В районе садков эти же показатели были следующими: численность 65,3 %, биомасса 36,4 %. Ниже садков по течению доля хирономид по численности равнялась 57,1 % и по биомассе — 40 % от общих количественных показателей макрозообентоса. У олигохет эти показатели составили по численности 28,6 % и по биомассе 20 %.

Из приведенных материалов следует:

- доли численности хирономид в контроле и в садках сходные;
- доля биомассы хирономид у садков по сравнению с контролем возросла;
- доли численности и биомассы хирономид ниже садков увеличились по сравнению с садками (в разных пропорциях);
- доли численности и биомассы олигохет у садков по сравнению с контролем уменьшились (в разных пропорциях);
- доли численности и биомассы олигохет ниже садков продолжали уменьшаться (в разных пропорциях).

Показанная динамика есть следствие изменения видового состава. У хириноид в районе садков по сравнению с контролем увеличилась доля крупных организмов. Ниже по течению начала увеличиваться доля более мелких организмов (численность возросла в 3,7 раза, а биомасса — в 1,5 раза). В дальнейшем планируется эти исследования продолжить.

Судя по величинам индекса С, садковое хозяйство даже в речных условиях может влиять на количественные показатели донной фауны. Остатки корма, экскременты оседают непосредственно под садками и оказывают влияние на содержание органики в донных отложениях и, как следствие, на видовой и количественный состав макрозообентоса (см. табл. 12).

Таблица 12

#### Количественные показатели макрозообентоса р. Суна, лето

Станции	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс Вудивисса
Садки	980	0,23	4
Контроль	280	0,61	5
Индекс С	3,5	0,38	—
Ниже садков (100 м)	140	0,20	4
НС/С	0,14	0,87	—

Таким образом, доминирующий комплекс организмов и рассчитанные для каждой станции величины индексов-показателей качества воды указывают на б-мезосапробные условия в водоеме. Следовательно, водные массы р. Суна в районе форелевого хозяйства по показателям зообентоса можно классифицировать как слабозагрязненные.

### 6.5. Биотестирование

Биотестирование в режиме острого опыта (96 час.) показало, что речная вода на всех станциях наблюдения не оказывала на подопытные организмы острого токсического воздействия.

По данным биотестирования, вода у садков в летний период по всем количественным параметрам была нормативной. Выживаемость рачков соответствовала контролю, показатели роста (длина тела) и размножения (плодовитость) варьировали относительно контрольных величин незначимо. Однако при микроскопическом исследовании у подопытных из неразбавленной пробы были выявлены следующие нарушения: наполнение кишечника составляло 2—3 балла (контроль — 4—5 баллов), количество жировых отложений — 1 балл (контроль — 2 балла), окраска тела — бледная, окраска кишечника — зеленая на всем протяжении (в контроле — зе-

лено-коричневая на 1/3). При экспериментальном разведении речной воды в 2 раза описанные симптомы устранились.

Исследование биологического качества воды в 100 м от садков вниз по течению в хроническом режиме показало, что в период летней межени все количественные показатели подопытной тест-культуры не нарушались. Выживаемость рачков во всем градиенте разбавлений была нормативной, показатели роста и размножения варьировали относительно контроля незначимо, физиологическое состояние соответствовало биологической норме дафний.

В период летней межени вода на всех станциях мониторинга в основном отличалась высокой биокондичией, что положительно сказывалось на функционировании индикаторного вида. Все количественные и качественные тест-параметры *Daphnia magna* соответствовали биологической норме и по своим значениям были близки к контрольным показателям. Исключение составляла вода, отобранная вблизи садков, где у ракообразных при биотестировании регистрировали признаки нарушений пищеварительной функции, что, вероятно, связано со снижением активности питания. При этом выявленные изменения не сказались на росте и репродукции ракообразных.

Суммируя полученные результаты, на основании существующей классификации можно заключить, что в летний сезон испытываемые среды были нетоксичными.

## 6.6. Рыбы

Рыбы р. Суна представлены обычным для таежной зоны комплексом. Основу их составляют щука, окунь, плотва, ёрш. Встречаются также елец, ручьевая форель, уклея, налим.

Наблюдения за поведением рыб в зоне садков показали их высокую приспособляемость к режиму кормления выращиваемых рыб. Примерно за 30—40 мин. до начала кормления в зоне садков начинают скапливаться рыбы из природных условий. Во время кормления в зоне садков сосредотачивается до нескольких сотен местных рыб, которые с успехом съедают поступающие из садков остатки корма. Через 30—50 мин. после кормления все местные виды рыб рассредотачиваются по акватории водоема. Приведенный пример процедуры пищевой миграции рыб повторяется ежедневно на протяжении всего вегетационного периода. Зимой, когда выращиваемые в садках рыбы почти не кормятся, нами не отмечено случаев пищевой миграции местных видов рыб.

## Заключение

Аквакультура становится одним из ведущих поставщиков пищевой продукции в мире. В настоящее время ее объемы превысили 60 млн. т рыбной продукции. Значительное место в аквакультуре занимает садковое рыбоводство, которое в последние годы успешно развивается. Это еще сравнительно молодое инновационное направление, позволяющее решать многие социальные, экономические и экологические проблемы. По данным ФАО, в настоящее время его объемы уже приблизились к 70 % общего объема выращиваемой рыбы. Развитию этого направления способствуют возможность эффективного решения проблем продовольственной безопасности, широкой доступности получаемой продукции, увеличение занятости населения, улучшение его питания и здоровья. Не меньшее значение имеет также сокращение сбросов путем создания замкнутых и закрытых систем производства рыбной продукции и наличие эффективных биотехнологий переработки органических отходов в экологически безопасный биогумус.

Несмотря на огромные преимущества перед другими направлениями аквакультуры, садковое рыбоводство имеет свои недостатки. Среди них на первое место следует поставить загрязнение водной среды остатками корма, экскрементами и конечными продуктами метаболизма, объемы которых могут достигать 30—40 % от выпускаемой продукции. Особенно это опасно для пресноводных водоемов, имеющих ограниченные акватории и сравнительно небольшой водообмен. Экосистемы таких водоемов для сохранения экологического благополучия способны трансформировать лишь конкретные величины поступающего в них органического вещества. Дополнительное же количество органических веществ, в частности от садкового рыбоводства, может привести к ускорению процессов эвтрофикации и даже к изменению трофического статуса.

В России, как и во многих других странах мира, в основном садковое рыбоводство развивается в пресных водоемах. Особенно интенсивное развитие оно получило в Карелии, дающей около 70 % садковой продукции России. В настоящее время воздействие садкового рыбоводства на водную среду в основном нейтрализуется за счет естественных процессов самоочищения и самовосстановления природных водоемов. В дальнейшем потребности населения в рыбной продукции будут расти и главным ее поставщиком станет садковое рыбоводство. Соответственно, возрастет его влияние на окружающую водную среду. Экологическая емкость водоемов может быть превышена, что приведет к нарушению нормального функционирования водных экосистем и нарушению статуса водоемов. В связи с этим возникает необходимость определить основные пути экологически безопасного развития садковой аквакультуры в пресных водоемах.

Полученные на протяжении 11 лет результаты мониторингового исследования влияния садкового рыбоводства на водную среду разнотипных водоемов и их биоту позволяют ответить на некоторые возникающие вопросы при развитии садкового рыбоводства и определить основные пути минимизации его воздействия. Исследования выполнялись на различных по трофическому статусу и акваториям следующих водоемах: Онежское озеро (олиготрофный, крупнейший в Европе водоем с мезотрофирующей Кондопожской и олиготрофной Лахтинской губами), Сундозеро (олиготрофный, небольшой по акватории водоем с признаками мезотрофии), Коткозеро (мезотрофный, небольшой по акватории водоем) и р. Суна (проточный водоем с признаками слабого загрязнения).

В результате многолетнего мониторинга определены динамика гидрохимических показателей вод, формирования качественного и количественного состава фитопланктона, зоопланктона и макрозообентоса при функционировании садковых рыбоводных хозяйств, а также выполнено биотестирование вод и изучен качественный и количественный состав местных видов рыб.

**Гидрохимический режим.** Активная реакция воды исследованных водоемов на протяжении всего периода исследований была близка к нейтральной (рН 6,2—7,8). В Кондопожской, Лахтинской губах Онежского озера и Сундозере незначительные отклонения отмечены в щелочную сторону (рН 7,1—7,8), в Коткозере и р. Суна — в кислую (рН 6,2—7,0). Последнее обусловлено болотным водосбором этих водоемов. Газовый режим воды в исследованных водоемах летом был благоприятный для

обитающих в них организмов ( $O_2$  6,5—10,0 мг/л). Низкая цветность бала свойственна водам Кондопожской, Лахтинской губ Онежского озера и Сундозера (32—90 градусов). В р. Суна цветность вод была 140—170 градусов, а в Коткозере — даже 180—240 градусов. Соответственным образом изменялась прозрачность вод (1,3—5,8 м). Вода во всех исследованных водоемах слабоминерализована (32—70 мг/л).

Достаточно четкие отличия выявлены в водах исследованных водоемов по содержанию органических веществ (табл. 13). Содержание легкоокисляемой органики наименьшим было в типично олиготрофной Лахтинской губе (ПО 7,6/7,9 мгО/л). Больше ее количество отмечено в Сундозере (ПО 11,1/9,7 мгО/л) и в Кондопожской губе (ПО 12,3/11,5 мгО/л) — в олиготрофных водоемах с признаками мезотрофии. Воды Коткозера характеризуются очень высоким содержанием легкоокисляемой органики (ПО до 24,2 мгО/л). Это типично мезотрофный водоем с признаками дистрофии и болотным питанием. Водам р. Суна, с болотистым водосбором, также свойственно значительное количество легкоокисляемых органических веществ (ПО до 27 мгО/л). Аналогичным образом изменяется содержание биохимически лабильной органики — минимум в Лахтинской губе, максимум — в Коткозере (табл. 13). В настоящее время малое количество биохимически лабильной органики отмечено в р. Суна (БПК<sub>5</sub> около 0,6 мгО<sub>2</sub>/л). Возможно, это связано с высоким содержанием кислорода и большой проточностью водоема. Все показатели содержания биохимически лабильных органических веществ находятся в пределах рыбохозяйственных нормативов (ПДК<sub>рыбохоз.</sub> 2,0 мгО<sub>2</sub>/л). По малому содержанию аммонийного азота выделялись воды р. Суна, а по максимуму — воды Коткозера. Однако все его показатели также были в пределах рыбохозяйственных нормативов. Существенных различий содержания других соединений азота и минерального фосфора в водах исследованных водоемов не выявлено (табл. 13).

Негативное воздействие садкового хозяйства на такие показатели, как величина рН, содержание кислорода, цветность воды и минерализация, не выявлено. Эти величины в районах садков практически не отличались от контроля. Индекс С незначительно изменялся в пределах нормы (0,95—1,08).

В Кондопожской губе Онежского озера отмечено слабое воздействие садкового хозяйства на содержание биохимически лабильных органических веществ (БПК<sub>5</sub>), аммонийного азота, нитритов и нитратов в придонных слоях воды. Непосредственно под садками индекс С в разные годы достигал величин 1,39—1,48 (в 2009 г.) и 1,33—1,37 (в 2012 г.).

Таблица 13

**Гидрохимическая характеристика природных вод  
исследованных водоемов**

<i>Водоемы</i>	<i>Статус</i>	<i>ПО, мг О/л</i>	<i>БПК<sub>5</sub>, мг О<sub>2</sub>/л</i>	<i>NH<sub>4</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>2</sub>, мгN/л</i>	<i>NO<sub>3</sub>, мгN/л</i>	<i>P<sub>мин.</sub>, мгP/л</i>	<i>P<sub>общ.</sub>, мгP/л</i>
Кондопожская губа	Олиго- мезотр.	<u>12,3</u>	<u>1,36</u>	<u>0,20</u>	<u>0,004</u>	<u>0,15</u>	<u>0,008</u>	<u>0,018</u>
		11,5	1,53	0,22	0,003	0,20	0,007	0,026
Лахтинская губа	Олиготр.	<u>7,6</u>	<u>1,08</u>	<u>0,16</u>	<u>0,002</u>	<u>0,16</u>	<u>0,007</u>	<u>0,007</u>
		7,9	1,0	0,17	0,002	0,17	0,007	0,008
Сундозеро	Олиго- мезотр.	<u>11,1</u>	<u>1,30</u>	<u>0,15</u>	<u>0,002</u>	<u>0,06</u>	<u>0,005</u>	<u>0,009</u>
		9,7	1,02	0,17	0,002	0,07	0,008	0,016
Коткозеро	Мезотр.	<u>22,5</u>	<u>1,43</u>	<u>0,21</u>	<u>0,004</u>	<u>0,11</u>	<u>0,016</u>	<u>0,023</u>
		24,2	1,25	0,34	0,005	0,26	0,042	0,053
Река Суна	Слабое загрязн.	<u>27,0</u>	<u>0,60</u>	<u>0,08</u>	<u>0,009</u>	<u>0,07</u>	<u>0,007</u>	<u>0,010</u>
		26,0	0,56	0,08	0,008	0,07	0,006	0,014
ПДК <sub>рыбохоз.</sub> мг/л		15,0	2,0	0,5	0,05	1,0	0,2	—

В числителе — сведения о поверхностных водах, в знаменателе — о придонных водах.

В Лахтинской губе Онежского озера во время функционирования садкового хозяйства (1996—2006 гг.) негативного его влияния на гидрохимический режим водной толщи не выявлено. Индекс С колебался в пределах 0,8—1,3, что соответствует норме. Исключение составило увеличение в 2006 г. содержания минерального фосфора у садков по сравнению с контролем (индекс С 1,6), что обусловлено не только влиянием садков, но и турбулентным перемешиванием воды. После прекращения деятельности хозяйства, несмотря на природные изменения гидрохимических показателей воды, его последствие на водную среду не проявлялось. Индекс С изменялся в пределах нормы (0,82—1,18).

В Сундозере на протяжении исследования содержание легкоокисляемых и биохимически лабильных веществ в зоне садков не отличалось от контроля по всей водной толще. Индекс С колебался около единицы (от 0,85 до 1,2). В 2009 г., после двухлетнего содержания садков на одном месте, было выявлено незначительное увеличение уровня воздействия садков на биохимически лабильную органику (БПК<sub>5</sub>) в придонных слоях воды (индекс С 1,41).

В Коткозере содержание легкоокисляемых и биохимически лабильных органических веществ по сравнению с другими водоемами было повы-

шено в 1,5—2,0 раза. Воздействие же садкового хозяйства на эти показатели в 2008 г. практически отсутствовало (индекс  $C$  0,82—1,07), а в 2010 г. проявлялось очень незначительно (индекс  $C$  1,38). Отмечено слабое воздействие хозяйства в 2008 г. на содержание аммонийного азота и общего фосфора и в 2010 г. на содержание нитратов и минерального фосфора в придонных слоях (индекс  $C >0,8 < 1,3$ ).

В р. Суна легкоокисляемых веществ было в 2 раза выше их содержания в исследованных олиготрофных водоемах. Негативное же воздействие хозяйства на этот показатель не проявлялось (индекс  $C$  0,99/1,08). Биохимически лабильная органика подверглась очень сильному влиянию хозяйства (индекс  $C$  2,7/2,3) по всей водной толще. Минеральный фосфор накапливался лишь в придонных слоях воды (индекс  $C$  1,5). Повышенные концентрации органических компонентов распространялись по течению на расстояние более 100 м от садков.

В целом же полученные результаты изучения роли садковых форелевых хозяйств в формировании химического состава водной среды показали слабое влияние хозяйств на ее отдельные компоненты. Абсолютные показатели органических веществ и элементов, за исключением легкоокисляемых веществ в Коткозере и р. Суна, не выходят за пределы рыбохозяйственных нормативов (ПДК рыбхоз). Вероятно, органические вещества (остатки корма, экскременты, конечные продукты метаболизма), поступающие от садкового хозяйства, полностью трансформируются в процессе самовосстановления и саморегулирования водной экосистемы.

**Фитопланктон.** Видовой состав фитопланктона в исследованных водоемах достаточно разнообразен. Количество выявленных видов колебалось от 21 (р. Суна) до 47 (Лахтинская губа Онежского озера). Флористически во всех исследованных водоемах преобладал комплекс диатомовых водорослей, свойственный бореальной зоне. По количеству видов диатомовые в общем составе фитопланктона достигали 80 % (Коткозеро), по численности — 70 % и по биомассе — 74 % (Сундозеро). Доминирующей группой во всех исследованных водоемах были *Aulacoseira italica var. tenuissima*, *Aulacoseira islandica*, *Tabellaria fenestrata*. Исключительно в озерных экосистемах доминировала *Fragilaria crotonensis*, а в олиготрофных водоемах — *Asterionella formosa*, *Aulacoseira italica*. Кроме того, в каждой озерной системе были еще специфичные только для нее доминирующие виды. В речной экосистеме среди диатомовых, кроме общих, доминирующих видов не выявлено. Среди золотистых отмечены *Mallomonas caudate*, *Kephirion cupuliformes*,

*Dinobryon sociale* и *Dinobryon suecicum*. Пирофитовые были представлены *Glenodinium quadridens*, синезеленые — *Anabaena lemmermannii* и зеленые — *Euastrum binale*, *Scenedesmus acuminatum*.

В количественном отношении в природных водах исследованных водоемов наиболее богато представлен фитопланктон в Кондопожской губе и в Коткозере. Причем в Коткозере в разные годы отмечены существенные колебания численности и биомассы водорослей (табл. 14). Очевидно, это связано с очень теплым 2010 г. и достаточно холодным 2008 г. Минимальные количественные показатели фитопланктона выявлены в олиготрофной Лахтинской губе и слабо загрязненной р. Суна (см. табл. 14).

Таблица 14

**Количественная характеристика фитопланктона  
в исследованных водоемах**

Водоемы	Численность, тыс. кл./л	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Сапробность
Кондопожская губа	<u>1400</u> 1100—2000	<u>2,0</u> 1,2—2,5	<u>1,9</u> 1,7—2,1
Лахтинская губа	<u>103,6</u> 90—250	<u>0,262</u> 0,29—0,65	<u>1,6</u> 1,4—1,7
Сундозеро	<u>365</u> 138—369	<u>0,64</u> 0,29—0,65	<u>1,53</u> 1,4—1,93
Коткозеро	<u>1913</u> 350—3500	<u>1,511</u> 0,497—2,570	<u>1,67</u> 1,4—1,93
Река Суна	<u>133</u> 102—160	<u>0,177</u> 0,107—0,193	<u>1,94</u> 1,89—1,98

Негативное воздействие хозяйства на развитие водорослей в Кондопожской губе в период с 2006 по 2009 г. не отмечено. Индекс С по численности и биомассе изменялся в пределах нормы от 0,82 до 1,21. В 2012 г. вместе с содержанием биохимически лабильной органики, нитратов и минерального фосфора в зоне садков возросли численность и биомасса фитопланктона. Проявилось умеренное воздействие садкового хозяйства. Индекс С превысил норму и достиг величин 1,39 (по численности) и 1,51 (по биомассе). Однако отмеченное воздействие не относится к категории опасного.

В Лахтинской губе негативное воздействие садкового хозяйства во время его функционирования и после закрытия на количественные показатели водорослей не выявлено. Это хорошо иллюстрируется показателями индекса С, характеризующими уровень воздействия (приложение 4). Индекс

С по численности на протяжении всего периода исследований колебался в пределах 0,82—1,17 (норма). По биомассе колебания индекса С отмечены в пределах 0,94—1,31. В 2011 г., через 5 лет после закрытия хозяйства, увеличение биомассы фитопланктона уже не связано с его деятельностью. Возможно, эти изменения обусловлены природными факторами среды и изменениями видового состава фитопланктона.

В Сундозере негативное воздействие садкового хозяйства на количественные показатели развития водорослей не выявлено (приложение 7). Значения индексов С сохранялись в пределах нормы (по численности — 0,97, по биомассе — 0,95). Это есть следствие соблюдения технологии выращивания рыбы, а главное, периодическое перемещение садков по акватории водоема, что препятствовало накоплению органики в донных отложениях. В результате сохранялось качество водной среды.

В Коткозере, наряду со значительными колебаниями количественных показателей, четко прослеживается воздействие хозяйства на развитие водорослей. Уровень воздействия, судя по величине индекса С, весьма значительный. Особенно он сильно проявляется на численном составе водорослей (индекс С 1,45—1,79). Динамика биомассы изменяется в меньшей степени (приложение 10). Сапробность водоема также оказалась достаточно высокой.

В р. Суна влияние садкового хозяйства на развитие фитопланктона не выявлено. Индекс С изменялся исключительно в пределах нормы (см. табл. 8). По численности его величина была 1,2 и по биомассе — 1,09. При этом количественные показатели фитопланктона как выше, так и ниже садков по течению достаточно близки между собою. Причина — малые объемы хозяйства, совершенная технология и высокая проточность воды через садки.

Полученные результаты по развитию фитопланктона в условиях функционирования хозяйств являются доказательством в основном очень слабого их влияния. Исключением является мезотрофное Коткозеро, в котором воздействие хозяйства на развитие водорослей проявляется достаточно сильно.

В составе зоопланктона исследованных водоемов число выявленных видов колеблется от 25 (р. Суна) до 92 (Лахтинская губа). Преобладали *Rotatoria* (до 52 %) и *Cladocera* (до 75 %). Доминирующей группой во всех водоемах были *Kellicotia longispina*, *Termociclops oithonoides*, *Bosmina*

*obtusirostris*, *Asplanchna priodonta* и *Conochilus unicornis*. *Daphnia cristata* и *Eudiaptomus gracilis* доминировали в малых озерах и р. Суна.

По количественным показателям выделяются губы Онежского озера. По сравнению с малыми озерами и р. Суна различия достигают 20 раз и более. Особенно значительны различия по сравнению с зоопланктоном Лахтинской губы (табл. 15). Наряду с различной трофностью водоемов, очевидно, эти различия также обусловлены интенсивностью антропогенного воздействия. Конечно, не исключается воздействие природных факторов (теплые и холодные годы).

Таблица 15

**Количественные показатели состояния зоопланктона  
в исследованных водоемах**

Водоем	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Индекс сапробности
Кондопожская губа	<u>125,5</u> 35,9—280,6	<u>0,78</u> 0,48—1,52	<u>1,7</u> 1,6—1,7
Лахтинская губа	<u>123,1</u> 54,0—248,5	<u>3,25</u> 0,98—6,41	<u>1,8</u> 1,7—1,8
Сундозеро	<u>19,6</u> 12,4—29,0	<u>0,27</u> 0,21—0,30	<u>1,61</u> 1,59—1,64
Коткозеро	<u>8,8</u> 6,9—12,5	<u>0,12</u> 0,10—0,16	<u>1,66</u> 1,64—1,69
Река Суна	<u>13,4</u> 11,0—18,2	<u>0,13</u> 0,12—0,15	<u>1,7</u> 1,7—1,8

Негативное воздействие садкового хозяйства на зоопланктон Кондопожской губы практически отсутствовало. На протяжении всего периода исследования индекс С не выходил за пределы нормы и колебался в пределах 0,76—1,24 (приложение 2). Незначительное его снижение по численности может быть следствием выедания планктона местными видами рыб, которые, как уже отмечалось, концентрируются в зоне садкового хозяйства.

В Лахтинской губе садковое хозяйство в период функционирования и после его закрытия не оказало негативного воздействия на количественные показатели зоопланктона. Уровень воздействия хозяйства по величине индекса С не выходил за пределы нормы, изменяясь в пределах от 0,85 до 1,14 (приложение 5). При этом следует отметить, что видо-

вой состав и количественные показатели зоопланктона в районе садков и в открытой части губы закономерно изменялись. С 2002 по 2006 г. число видов зоопланктона увеличилось на 9 единиц. После закрытия хозяйства видовое разнообразие зоопланктона увеличилось. Пик численности зоопланктона отмечен в последний год функционирования хозяйства (2006).

В Сундозере негативное воздействие садкового хозяйства на зоопланктон отмечено в 2006 г. (индекс  $C$  1,8 и 2,15), когда была нарушена технология перемещения садков. При этом отмечалось увеличение содержания соединений фосфора. В последующие годы влияние хозяйства на зоопланктон практически отсутствует. Величина индекса  $C$  по численности составила 1,12 и по биомассе — 1,11.

В Коткозере воздействие садкового хозяйства на численность зоопланктона можно оценить как среднее (индекс  $C$  2,1), а на биомассу как умеренное (индекс  $C$  1,8). Учитывая трофический статус водоема, даже такое воздействие является предупреждением для дальнейшего развития хозяйства.

В р. Суна воздействие садкового хозяйства на численность зоопланктона отсутствует (индекс  $C$  1,24), а на его биомассу проявляется весьма слабо (индекс  $C$  1,38). Однако увеличение мощности хозяйства проводить не целесообразно, учитывая динамику химических показателей воды.

Таким образом, негативное воздействие садковых хозяйств на развитие зоопланктона в губах Онежского озера отсутствует, а в малых водоемах оказалось весьма слабым. Однако нарушение технологии производства рыбы в садках и необоснованное увеличение объемов выращивания может привести к существенному увеличению такого воздействия.

**Макрзообентос.** В исследованных водоемах количество выявленных таксонов макрзообентоса колебалось от 8 (р. Суна) до 30 (Лахтинская губа), в основном представленных хирономидами и олигохетами. Численность хирономид в озерах доходила до 55 % (Сундозеро), а биомасса — даже до 63 % (Кондопожская губа). Доминировали в каждом из исследованных водоемов специфичные для них группы организмов. Например, в Кондопожской губе во все годы исследования преобладали *Sergentia longiventris*, *Stictochironomus histrio*, *Chironomus salinarius* и *Procladius Skuze*; Лахтинской губе — *Micropsectra praecox*, *Paracladopelma camptolabis*, *Ablabesmya lentiginosa*, *Lamprodrilus isoporus*, *Spirosperma ferox*.

В летний период максимальные величины плотности макрозообентоса отмечены в Кондопожской губе. Средняя численность макрозообентоса в районе исследования равнялась 716 экз./м<sup>2</sup> при биомассе 2,6 г/м<sup>2</sup> (табл. 16). На втором месте по плотности размещения макрозообентоса находится Лахтинская губа (численность 525 экз./м<sup>2</sup>, биомасса 0,592 г/м<sup>2</sup>). Различия отмечены не только в средних показателях, но в диапазоне их колебаний. В Кондопожской губе колебания численности достигают 16 раз и биомассы 6 раз, а в Лахтинской губе они равняются 3,5 и 4,7 раза соответственно. Это объясняется различной трофностью водоемов: Кондопожская губа имеет признаки мезотрофии, а Лахтинская губа типично олиготрофный водоем. Затем по убыванию плотности размещения донных организмов следуют дистрофирующееся Коткозеро, загрязняющаяся р. Суна и олиготрофное Сундозеро с элементами мезотрофии.

Таблица 16

**Количественная характеристика макрозообентоса  
исследованных озер**

<i>Водоем</i>	<i>Численность, экз./м<sup>2</sup></i>	<i>Биомасса, г/м<sup>2</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
Кондопожская губа	<u>716</u> 64—1032	<u>2,60</u> 0,79—5,04	<u>2,1</u> 2,1—2,2
Лахтинская губа	<u>525</u> 286—996	<u>0,592</u> 0,26—1,22	<u>1,5</u> 1,4—1,6
Сундозеро	<u>248</u> 186—321	<u>0,41</u> 0,18—0,66	<u>1,7</u> 1,4—2,1
Коткозеро	<u>420</u> 370—490	<u>0,34</u> 0,30—0,42	<u>2,5</u> 2,5
Река Суна	<u>280</u> 247—345	<u>0,23</u> 0,19—0,27	—

Примечание: в числителе — среднее значение, в знаменателе — колебание значений.

Практически во всех исследованных водоемах форелевые хозяйства в основном воздействуют на макрозообентос негативно. В одних случаях угнетающе (Кондопожская губа, Коткозеро), в других — стимулирующе (Лахтинская губа). В Лахтинской губе влияние функционирования хозяйства на макрозообентос нами отмечено через пять лет, после его закрытия его уровень значительно сократился. Если перед закрытием хозяйства индекс С равнялся 2,39, то через пять лет его величина сократилась до 1,69. В р. Суна деятельность хозяйства стимулировала

численность донной фауны (индекс С 3,5) и уменьшала ее биомассу (индекс С 0,38). Возможно, это связано с турбулентным перемешиванием воды в речных условиях и изменением видового состава.

Минимизировать негативное влияние садковых хозяйств на макрозообентос возможно путем перемещения садков в пределах акватории хозяйства ежегодно или каждые два года. В первом случае эффект будет сильнее, но это может негативно отразиться на экономике.

**Биотестирование.** В Лахтинской губе в 2006 г. отмечена слабая токсичность воды в районе садков в виде угнетения репродуктивной функции, что может быть следствием увеличения содержания биохимически лабильных веществ.

Вода Коткозера в районе хозяйства обладает низкой биокондичией, оказывает ингибирующее (угнетающее) влияние на тест-параметры индикаторного организма (*Daphnia magna*).

Исследование качества воды остальных водоемов биологическим методом биотестирования показало, что озерная вода в зоне влияния форелевых хозяйств относительно благоприятная для стандартной тест-культуры дафний. Жизнеспособность тест-культуры не нарушалась на протяжении хронического исследования, продукция и рост самок были близки к контрольному уровню, процессы ово- и эмбриогенеза, а также физиологическое состояние в основном соответствовали биологической норме.

Биотестирование вод р. Суна не позволяет сделать достоверный вывод о возможном влиянии форелевого хозяйства на качество речной воды в силу малочисленности данных. Угнетающие эффекты, выявленные при биотестировании, могут быть обусловлены самыми разными факторами, как природными (закисленность, взвешенное вещество), так и антропогенными (агротехнические, коммунально-бытовые стоки, осадки).

**Рыбы.** В Кондопожской губе, как и во всей акватории Онежского озера, обычно отмечается 35 видов рыб, из которых почти половина имеют промысловое значение. Обычными представителями являются щука, лещ, ряпушка, но численность их незначительна. К массовым видам относят окуня, плотву и ерша. До начала промышленного загрязнения сточными водами Кондопожского ЦБК отмечалась значительная численность ценных ее представителей — сига, ряпушки, лосося, судака. К настоящему времени численность этих видов рыб значительно сократилась и ведущую роль заняли окунь, плотва, ёрш, налим.

В Лахтинской губе за период исследований уловы рыбы в губе были представлены 14 видами — пресноводный лосось, радужная форель, сиг обыкновенный, европейская ряпушка, европейская корюшка, лещ, плотва, щука, налим, судак, окунь, ёрш, трёхиглая колюшка и девятииглая колюшка. Встречались также крупная форма ряпушки килец, сиг ямный и сиг лудога. В период функционирования садкового хозяйства появился лещ, до организации хозяйства не встречавшийся в этом районе.

В Сундозере обитают ряпушка, сиг, корюшка, щука, плотва, елец, язь, уклея, лещ, налим, окунь и ёрш. Промысловое значение имеют ряпушка, щука, лещ, налим, ёрш, корюшка, уклея, окунь и плотва. В меньших количествах ловятся елец и язь, очень редко залавливается сиг.

В Коткозере встречено 15 видов рыб: корюшка, щука, плотва, лещ, судак, окунь, ёрш, налим и уклея. Непромысловые рыбы: озерный лосось, озерно-речная форель, ручьевая форель, язь, густера и подкаменщик.

В р. Суна встречаются те же представители ихтиофауны, что и в Сундозере: ряпушка, сиг, корюшка, щука, плотва, елец, язь, уклея, лещ, налим, окунь и ёрш. Среди других обитателей водоема можно назвать щуку, налима, форель и уклею. В небольших количествах встречаются ряпушка и мигрирующий на нерест в реку пресноводный лосось и озерно-речной сиг.

В целом же состав ихтиофауны исследованных водоемов сходен. Некоторые различия наблюдаются во встречаемости ценных представителей рыбного населения (лосось, форель, сиги).

Наблюдения за поведением рыб в зоне садков показали их высокую приспособляемость к режиму кормления выращиваемых рыб. Примерно за 30—40 мин. до начала кормления в зоне садков начинают скапливаться местные рыбы. Во время кормления в зоне садков сосредотачивается до нескольких сотен местных рыб, которые с успехом съедают поступающие из садков остатки корма. Через 30—50 мин. после кормления все местные виды рыб рассредотачиваются по акватории водоема. Приведенный пример пищевой миграции рыб повторяется ежедневно на протяжении всего вегетационного периода. Зимой, когда выращиваемые в садках рыбы почти не кормятся, нами не отмечено случаев пищевой миграции местных видов рыб.

Таким образом, проведенное комплексное исследование гидрохимического и гидробиологического режимов водоемов, на которых функционируют (функционировали) форелевые садковые хозяйства, показало, что

в процесс рыбоводства вовлекаются различные водные экосистемы — озерные, речные, которые находятся на разных ступенях своего развития. Соответственно, и состояние (гидрохимическое, гидробиологическое) водных экосистем имеет существенные различия, как в количественном выражении, так и в качественном. Садковые хозяйства, конечно, могут оказывать определенное влияние на водоемы, но уровень этого воздействия на разные водоемы может существенно различаться.

Различные водоемы не одинаково реагируют на действие поступающих от хозяйства органических веществ. Независимо от трофического статуса водоемов можно было наблюдать воздействие садковых хозяйств на:

- легкоокисляемые органические соединения (Коткозеро);
- биохимически лабильную органику (БПК<sub>5</sub>) в придонных слоях воды (Кондопожская губа Онежского озера, Сундозеро, Коткозеро) и по всей водной толще (р. Суна);
- содержание аммонийного азота в придонных слоях (Кондопожская губа Онежского озера, Коткозеро);
- содержание нитритов (Кондопожская губа Онежского озера) и нитратов (Кондопожская губа Онежского озера, Коткозеро) в придонных слоях воды;
- содержание минерального фосфора (Лахтинская губа Онежского озера, Коткозеро, р. Суна) в придонных слоях воды;
- содержание общего фосфора (Коткозеро).

Наиболее подвержены влиянию садковых хозяйств химические компоненты вод Кондопожской губы Онежского озера и Коткозера, водоемы с мезотрофным статусом или близким к такому.

Олиготрофные водоемы, Сундозеро, Лахтинская губа и р. Суна, отреагировали на воздействие изменением лишь некоторых органических показателей (биохимически лабильная органика в придонных слоях воды, минеральный фосфор).

На численности и биомассе фитопланктона отразилось влияние садковых хозяйств, расположенных в Кондопожской губе и на Коткозере, которые находятся в состоянии мезотрофии. На численность и биомассу зоопланктона хозяйства повлияли в олиготрофном Сундозере, в мезотрофном Коткозере и р. Суна. На основании вычисленного индекса *S* в разные годы отмечено воздействие хозяйств на макрозообентос — от угнетенного (Кондопожская губа, Сундозеро, Коткозеро), слабого (Сун-

дозеро) и до сильного (Лахтинская губа, р. Суна). Воды Лахтинской губы и Коткозера, судя по дафниевому тесту, отреагировали слабой токсичностью на влияние садковых хозяйств.

Во всех водоемах около садков отмечалось изменение качественного и количественного состава рыб, появление у садков леща, увеличение численности окуня, ерша. Показана периодичность подхода рыбы к садкам, связанная с графиком кормления выращиваемых рыб. Выявлены морфофизиологические изменения у ерша (индикаторного вида), обитающего в районе садковых хозяйств.

Полученные материалы показывают, что функционирование садковых хозяйств тесным образом связано с общим состоянием водной экосистемы, трофностью водоема и его экологическими особенностями, а также зависит от соблюдения технологии производства рыбной продукции. Поэтому сохранение водной среды при развитии аквакультуры требует постоянного контроля за ее состоянием и при малейшем отклонении от нормы следует срочно выявлять его причины и принимать соответствующие меры.

## Список литературы

1. *Алекин А. О. и др.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 276 с.
2. *Балушкина Е. В., Винберг Г. Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., 1979. С. 58—79.
3. Биоресурсы Онежского озера / Карельский научный центр РАН. Петрозаводск, 2008, 272 с.
4. *Бессонов Н. М., Привезенцев Ю. А.* Рыбохозяйственная гидрохимия. М.: Агропромиздат, 1987. 158 с.
5. *Гольд З. Г., Глущенко Л. А., Морозова И. И. и др.* Оценка качества вод по химическим и биологическим показателям: пример классификации показателей для водной системы руч. Черемушный-Енисей // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 3. С. 335—345.
6. Госдоклад о состоянии окружающей среды в Республике Карелии в 2011 году. Петрозаводск, 2012.
7. *Дзюбук И. М.* Рыбная часть сообщества гидробионтов в районе садкового форелевого хозяйства // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 8(129). Т. 2. С. 14—17.
8. *Жадин В. И.* Методы гидробиологического исследования. М.: Высшая школа, 1960. 169 с.
9. *Жмур Н. С.* Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. ФР. 1.39.2001.00283. М.: АКВАРОС, 2001. 48 с.
10. *Ивантер Э. В., Коросов А. В.* Основы биометрии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1992. 168 с.
11. *Ивантер Э. В., Коросов А. В.* Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 304 с.

12. Каталог озер и рек Карелии. Петрозаводск, 2001.
13. Киселев А. Ю., Нестеренко А. А. Оценка возможностей технологического освоения рыбохозяйственного фонда водоемов // Вопросы рыболовства. 2006. № 3.
14. Кожова О. М., Мельник Н. Г. Инструкция по обработке проб зоопланктона счетным методом. Иркутск, 1978. 51 с.
15. Кузьмин Г. В. Фитопланктон — видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975.
16. Куликова Т. П. Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии / КФ АН СССР. Петрозаводск, 1983. 6 с.
17. Лесников Л. А. Методика оценки влияния воды из природных водоемов на *Daphnia magna* // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 157—162.
18. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: Наука, 1974. 60 с.
19. Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975.
20. Методическое руководство по биотестированию воды. РД 118-02-90. М., 1990. 48 с.
21. Новиков Ю. В. и др. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.
22. Озера Карелии. Петрозаводск, 1959. 425 с.
23. Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск, 1999.
24. Отчет о НИР. Влияние садкового хозяйства на водную среду и ее биоресурсы Лахтинской губы Онежского озера / ПетрГУ. Петрозаводск, 2002. 112 с.
25. Отчет о НИР. Изучение влияния садковых форелевых хозяйств на водную среду и биоресурсы водоемов Карелии / ПетрГУ. Петрозаводск, 2006. 45 с.
26. Отчет о НИР. Влияние садкового хозяйства на водную среду и ее биоресурсы Лахтинской губы Онежского озера / ПетрГУ. Петрозаводск, 2006а. 42 с.
27. Отчет о НИР. Влияние форелевого хозяйства на водную среду озера Сундозера / ПетрГУ. Петрозаводск, 2006б. 26 с.
28. Отчет о НИР. Влияние форелевого хозяйства на водную среду озера Коткозеро / ПетрГУ. Петрозаводск, 2008. 32 с.
29. Отчет о НИР. Оценка состояния водной среды Кондопожской губы Онежского озера в районе функционирования форелевых хозяйств / ПетрГУ. Петрозаводск, 2009. 86 с.
30. Отчет о НИР. Оценка состояния водной среды Сундозера и верхнего течения реки Суна в районе функционирования форелевого хозяйства / ПетрГУ. Петрозаводск, 2009. 40 с.
31. Отчет о НИР. Оценка состояния вод озера Коткозеро в районе форелевого хозяйства / ПетрГУ. Петрозаводск, 2010. 25 с.

32. Отчет о НИР. Влияние садкового хозяйства на водную среду и ее биоресурсы Лахтинской губы Онежского озера / ПетрГУ. Петрозаводск, 2011. 49 с.
33. Отчет о НИР. Мониторинг вод Кондопожской губы Онежского озера в районе форелевых хозяйств / ПетрГУ. Петрозаводск, 2012. 40 с.
34. Отчет о НИР. Влияние садкового хозяйства на водную среду и ее биоресурсы Лахтинской губы Онежского озера / ПетрГУ. Петрозаводск, 2012а. 38 с.
35. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования: Практические рекомендации. Апатиты: Изд-во АН СССР, 1988. 25 с.
36. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и сравнительно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды хозяйственных водоемов. М.: Мединор, 1999. 220 с.
37. *Правдин И. Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищепромиздат, 1966. 376 с.
38. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. Л., 1983. 239 с.
39. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА — Природа, 2002. 118 с.
40. *Рыжков Л. П.* Способ оценки влияния садковой аквакультуры на состояние водной экосистемы / ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет» (RU). Патент № 124534. 10.12.2012.
41. *Семенов А. Д.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометиздат, 1977. 541 с.
42. *Смирнов В. С., Божко А. М., Рыжков Л. П., Добринская Л. А.* Применение метода морфофизиологических индикаторов в экологии рыб. Петрозаводск: Карелия, 1972. 169 с.
43. *Федоров В. Д.* О методах изучения фитопланктона и его активности. М.: Изд-во МГУ, 1979. 176 с.
44. *Хоботьев В. Г., Капков В. И.* Культивирование зеленых водорослей и использование их в токсикологических экспериментах // Методики биологических исследований по водной токсикологии. М.: Наука, 1971. С. 219—231.
45. Экосистема Онежского озера. Л.: Наука, 1990.
46. *Demirak A., Balci A., Tufei M.* Environmental impact of the marine aquaculture in Gulluk Bay, Murkey // Environ Monit and Assess. 2006. 123. № 1—3. P. 1—12.
47. *Fitalgo M. Z.* Fish-farm effluents in the River Baseiro: Effects of water quality // Verh / Int. ver. theor and Angew Zimnol. 2003. № 28. r3. P. 1345—1349.
48. *Helminen H., Honkanen T.* The role of aquaculture in the eutrophication process of the Archipelago of Theoretical and Applied Zimnology Melhoume // Verh. Int. Ver. theor and angew Zimnol. 2003. № 28. r.3. P. 1176—1179.

# Приложения

## Приложение 1

### Количественная характеристика развития фитопланктона Кондопожской губы в летний период (Отчеты о НИР, 2006, 2009, 2011)

<i>Годы</i>	<i>Станции</i>	<i>Численность, тыс. кл./л</i>	<i>Биомасса, г/м<sup>3</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
2006	Садки	1384	2,33	1,8
	Контроль	1206	2,49	1,8
	Индекс С	1,15	0,94	—
2009	Садки	1313	1,02	1,7
	Контроль	1088	1,24	1,7
	Индекс С	1,21	0,82	—
2012	Садки	2650	3,75	2,1
	Контроль	1905	2,31	2,1
	Индекс С	1,39	1,51	—

## Приложение 2

### Количественная характеристика развития зоопланктона Кондопожской губы в летний период (Отчеты о НИР 2006, 2009, 2012)

<i>Годы</i>	<i>Станции</i>	<i>Численность, тыс. экз./м<sup>3</sup></i>	<i>Биомасса, г/м<sup>3</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
2006	Садки	189,6	1,53	1,7
	Контроль	250,3	1,23	1,7
	Индекс С	0,76	1,24	—
2009	Садки	43,6	0,47	1,7
	Контроль	39,6	0,53	1,7
	Индекс С	1,10	0,89	—
2012	Садки	82,3	0,62	1,6
	Контроль	86,7	0,60	1,6
	Индекс С	0,95	1,03	—

## Приложение 3

**Количественные показатели развития макрозообентоса Кондопожской губы в летний период (Отчеты о НИР 2006, 2009, 2012)**

Годы	Станции	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс сапробности
2006	Садки	360	1,49	1,8
	Контроль	920	4,73	2,2
	Индекс С	0,39	0,32	—
2009	Садки	220	0,66	2,0
	Контроль	360	1,36	2,1
	Индекс С	0,61	0,49	—
2012	Садки	80	0,97	2,7
	Контроль	80	0,92	2,8
	Индекс С	1,0	1,05	—

## Приложение 4

**Количественные показатели развития фитопланктона Лахтинской губы в летний период (Отчеты о НИР, 2002, 2006, 2011)**

Годы	Станции	Численность, тыс. кл./л	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Индекс сапробности
2002	Садки	140	0,342	1,4
	Контроль	169	0,324	1,4
	Индекс С	0,82	1,06	—
2006	Садки	247	0,344	1,6
	Контроль	212	0,366	1,7
	Индекс С	1,17	0,94	—
2011	Садки	94	0,127	1,5
	Контроль	97	0,097	1,6
	Индекс С	0,97	1,31	—

## Приложение 5

**Динамика количественных показателей зоопланктона летом в Лахтинской губе (Отчеты о НИР, 2003, 2006, 2011)**

Годы	Станции	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс сапробности
2002	Садки	66,8	1,437	1,9
	Контроль	71,3	1,467	1,8
	Индекс С	0,94	0,98	—

Годы	Станции	Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс сапробности
2006	Садки	198,4	5,281	1,7
	Контроль	210,6	6,128	1,7
	Индекс С	0,94	0,86	—
2011	Садки	99,0	2,468	1,8
	Контроль	87,5	2,166	1,8
	Индекс С	1,13	1,14	—

Приложение 6

**Количественные показатели летнего макрозообентоса в Лахтинской губе  
(Отчеты о НИР, 2002, 2006, 2011)**

Годы	Станции	Численность, экз./м <sup>2</sup>	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Индекс сапробности
2002	Садки	665	0,700	1,4
	Контроль	700	0,770	1,4
	Индекс С	0,95	0,91	—
2006	Садки	1262	1,600	1,6
	Контроль	529	0,670	1,5
	Индекс С	2,39	2,39	—
2011	Садки	622	0,633	1,4
	Контроль	384	0,336	1,4
	Индекс С	1,62	1,88	—

Приложение 7

**Количественная характеристика фитопланктона Сундозера в летний  
период (Отчеты о НИР, 2006, 2009)**

Годы	Станции	Численность, тыс. кл./л	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Индекс сапробности
2006	Садки	310	0,52	1,65
	Контроль	362	0,63	1,54
	Индекс С	0,86	0,83	—
2009	Садки	357	0,62	1,65
	Контроль	369	0,65	1,51
	Индекс С	0,97	0,95	—

**Количественные показатели динамики зоопланктона Сундозера  
в летний период (Отчеты о НИР, 2006, 2009)**

<i>Годы</i>	<i>Станции</i>	<i>Численность, тыс. экз./м<sup>3</sup></i>	<i>Биомасса, г/м<sup>3</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
2006	Садки	47,1	0,56	1,62
	Контроль	25,89	0,26	1,63
	Индекс С	1,81	2,15	—
2009	Садки	15,3	0,31	1,61
	Контроль	13,6	0,28	1,59
	Индекс С	1,12	1,11	—

**Количественная характеристика макрозообентоса Сундозера  
в летний период (Отчеты о НИР, 2006, 2009)**

<i>Годы</i>	<i>Станции</i>	<i>Численность, экз./м<sup>2</sup></i>	<i>Биомасса, г/м<sup>2</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
2006	Садки	260	0,80	1,60
	Контроль	200	0,60	1,40
	Индекс С	1,3	1,33	—
2009	Садки	240	0,19	1,50
	Контроль	320	0,22	2,10
	Индекс С	0,75	0,86	—

**Количественная характеристика фитопланктона Коткозера  
(Отчеты о НИР, 2008, 2010)**

<i>Годы</i>	<i>Станции</i>	<i>Численность, тыс. кл./л</i>	<i>Биомасса, г/м<sup>3</sup></i>	<i>Индекс сапробности</i>
2008	Садки	566	0,661	1,91
	Контроль	390	0,511	1,93
	Индекс С	1,45	1,29	—
2010	Садки	6166	3,417	1,4
	Контроль	3437	2,511	1,4
	Индекс С	1,79	1,36	—

Научное издание

**Рыжков Леонид Павлович**  
**Дзюбук Ирина Михайловна**

**Экологическая безопасность**  
**садкового рыбоводства**

Редактор *О. В. Обарчук*  
Компьютерная верстка *О. В. Черняков*

Подписано в печать 20.06.2014. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. 5,5 уч.-изд. л. Тираж 30 экз. Изд. № 343

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Отпечатано в типографии Издательства ПетрГУ

185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

ISBN: 978-5-8021-2004-0



9 785802 120040