

УДК 574.633

СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ И БИОТЫ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ САДКОВЫХ ФОРЕЛЕВЫХ ХОЗЯЙСТВ

© 2011 г. Л. П. Рыжков, И. М. Дзюбук, А. В. Горохов, Л. П. Марченко, Н. В. Артемьева, Т. А. Иешко, М. Г. Рябинкина, В. А. Раднаева

Петрозаводский государственный университет

185910 Петрозаводск, просп. Ленина, 33

Поступила в редакцию 24.02.2010 г.

Представлены результаты исследования химических и биологических показателей качества водной среды в районе функционирования форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского оз. Выявлено увеличение содержания биохимически лабильных веществ и фосфора в районе садков. Показана динамика развития фитопланктона, зоопланктона и донных организмов в зоне садковых хозяйств. При соблюдении технологии производства рыбной продукции влияние садков на водную среду и биоту минимально.

Ключевые слова: мониторинг, качество водной среды, гидрохимические показатели, фитопланктон, зообентос, садковое форелевое хозяйство.

Использование водных ресурсов для выращивания гидробионтов в контролируемых человеком условиях интенсивно увеличивается во всем мире. Об этом можно судить по объемам развития аквакультуры. Если в 1960 г. мировая продукция гидробионтов составляла 2 млн. т, то в середине 1990-х гг. она уже достигла 10 млн. т. В настоящее время общий объем аквакультуры превысил 55 млн. т, рыбная продукция занимает в нем ~70%. При этом возрастает доля аквакультуры в мировой рыбохозяйственной отрасли. Если в 1970-е гг. она равнялась всего лишь 11% общего объема добываемой рыбной продукции, то в 2000 г. она достигла 32.3%. По материалам ФАО доля аквакультуры в мировом рыбном промысле к 2010 г. должна составлять не менее 50%.

В России в 2004 г. было выращено всего лишь 109 тыс. т рыбной продукции, так как за годы перестройки ее величина сократилась в 2 раза. В последние годы появилась тенденция увеличения объемов аквакультуры. Примером этому может быть Карелия. За последние 5 лет производство рыбной продукции в садках возросло в 3.8 раза, превысив величину добычи пресноводной рыбы примерно в 3 раза.

Такому бурному развитию садковой аквакультуры в Карелии способствовали не только климатические условия, но и глубокие научные разработки, отработанная технология, наличие специалистов и помощь правительства Карелии в решении многих практических и финансовых вопросов, а также новые социально-экономические условия и формы собственности. Возможности садкового форелеводства в республике весьма значительны. В 2009 г.

выращено 13 тыс. т рыбной продукции, а в перспективе 25–30 тыс. т.

В настоящее время приоритетным направлением рыбохозяйственной отрасли в Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации признано садковое рыбоводство. В перспективе, 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 так далее), энергообеспеченность, развивающиеся транспортные системы и близость рынков сбыта.

При интенсивном развитии садковой аквакультуры существует опасность, что увеличение объемов садкового рыбоводства может привести к изменениям качества водной среды и ее естественных биоресурсов, а в дальнейшем даже к необратимым изменениям в состоянии водных экосистем. При этом следует учитывать, что в геологически молодых северных водоемах процессы трансформации органических веществ (ОВ) осуществляются крайне медленно.

Для предупреждения негативных явлений в водоемах садкового рыбоводства при создании каждого рыбоводного хозяйства рекомендуется проводить государственную экологическую экспертизу. В процессе функционирования хозяйства осуществляется ежеквартальный контроль качества водной среды в районе размещения садков. Однако для планирова-

ния дальнейшего размещения садковых хозяйств и увеличения объемов выращиваемой рыбной продукции одного ведомственного контроля недостаточно. Интенсивное развитие садкового рыбоводства без ущерба природному состоянию водных ресурсов возможно лишь при проведении регулярного экологического мониторинга, результаты которого позволят строго контролировать и прогнозировать возможные изменения водных экосистем при функционировании рыбоводных хозяйств различной мощности. Материалы экологического мониторинга позволят разработать систему управления качеством водной среды при дальнейшем развитии садкового рыбоводства на внутренних водоемах Российской Федерации и оценивать целесообразность размещения садковых хозяйств в каждом конкретном регионе.

Для осуществления экологического мониторинга на водоемах республики Карелия по заказу ее правительства лаборатория экологических проблем Севера Петрозаводского государственного университета с 2004 г. проводит работы по изучению влияния садковых форелевых хозяйств на водную среду и ее биоресурсы.

Цель работы — с помощью мониторинга выявить возможные изменения состояния водной среды и ее биоты, происходящие в водных экосистемах с функционирующими форелевыми хозяйствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка состояния водной среды и ее биоресурсов в районе функционирования садковых форелевых хозяйств проводилась на протяжении 2004–2007 гг. в Кондопожской губе Онежского оз. — одного из крупнейших водоемов Европы. Для исследования был выбран район губы вблизи о. Соколий, где размещены два форелевых хозяйства (рисунок). Хозяйства функционируют с 1998 г. Объем выращиваемой в садках товарной рыбы в первом хозяйстве составляет ~100, во втором ~120 т/год.

Определялись важнейшие гидрохимические показатели качества тестируемых вод, проводились гидробиологические исследования и выполнялось биотестирование водной среды. Пробы воды отбирались на постоянных станциях, расположенных непосредственно в зоне размещения садков, на удалении 500 м от них в сторону вершины губы и 500 м в сторону открытого озера. Станции, расположенные на расстоянии 500 м от садков, использовались в качестве контроля для оценки влияния садковых хозяйств на экосистему Кондопожской губы.

Пробы воды для гидрохимических исследований отбирались летом (июль) и осенью (октябрь). Отбор проб осуществлялся батометром Рутнера с поверхности (0.5 м) и придонного горизонта (1.0 м от дна).

Анализы для определения показателей химического состава воды выполнялись по стандартным

методикам [12, 17]. Концентрацию водородных ионов определяли при помощи рН-метра — милливольтметра (рН 673), растворенный в воде O_2 — йодометрическим методом Винклера, перманганатную окисляемость в кислой среде — по Кубелю, аммонийный N — с реактивом Несслера, нитратный — с салицилатом натрия, P — с аскорбиновой кислотой. Колориметрирование проводили на ФЭК-КФК 2М.

Фитопланктон собирался и обрабатывался по общепринятым методикам [7, 11, 19]. При анализе сапробности водорослей использовались литературные данные [10, 18, 21].

Пробы зоопланктона отбирали малой сетью Джели с диаметром входного отверстия 18 см (газ № 55), фиксировали формалином до концентрации 4% в пробе. Камеральную обработку проб проводили по общепринятой методике [5, 8, 11]. Оценку степени загрязнения вод проводили по индексам сапробности [9, 10]. Класс качества воды оценивали по классификации В.А. Абакумова [15].

Для отбора количественных проб зообентоса использовали дночерпатель Экмана—Берджа (площадь захвата 0.025 м²). Отобранные пробы промывали через сито с газом № 35–38, фиксировали формалином до концентрации 4% в пробе. Камеральную обработку собранного материала проводили по общепринятым методикам [5, 11]. Качество воды оценивали по индексам сапробности [10, 13].

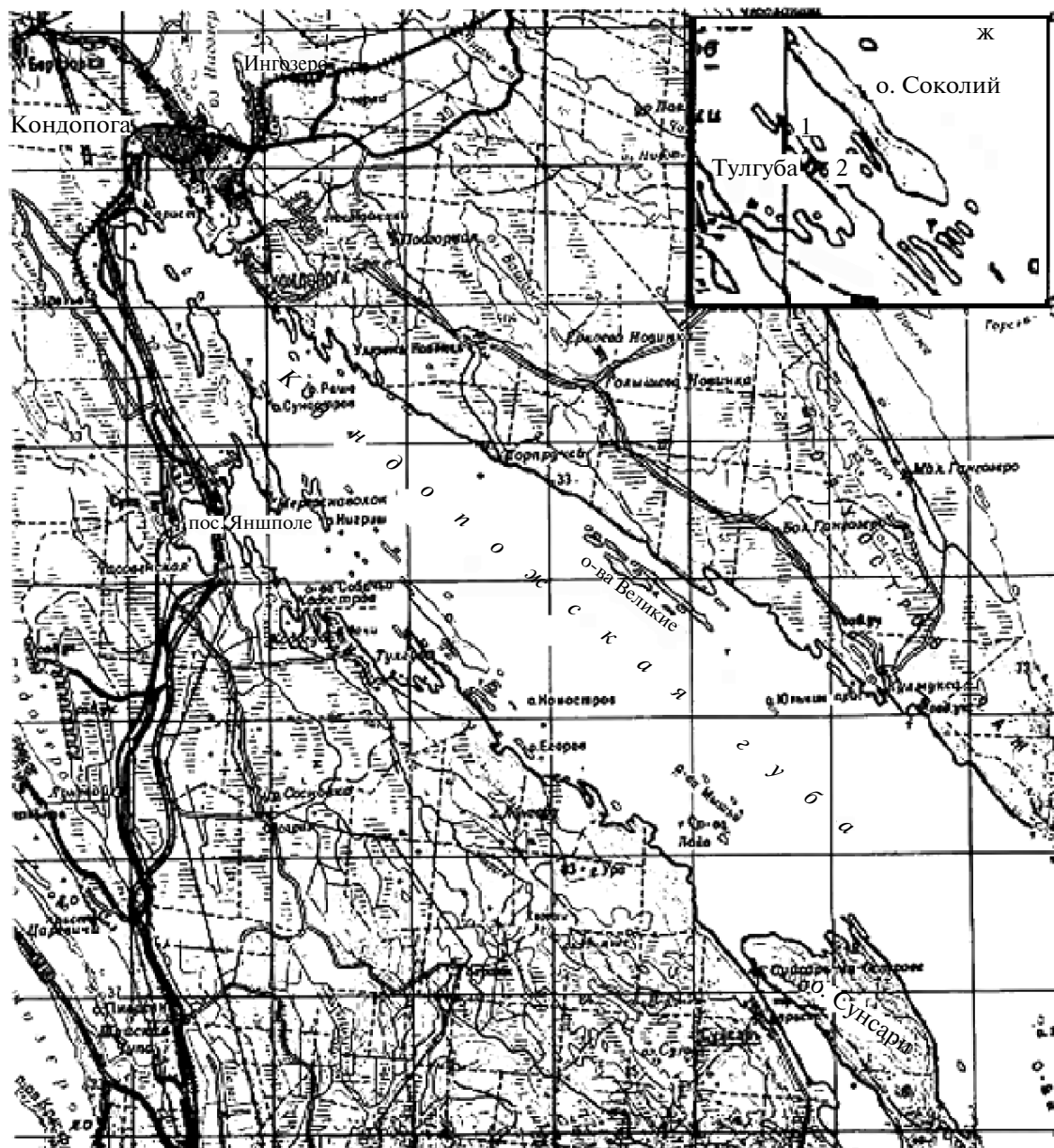
Оценка токсичности природной воды проводилась в соответствии с методическими рекомендациями по биотестированию [6, 14, 16, 20]. В качестве тест-объекта использовалась стандартизированная в водной токсикологии культура ветвистоусых рачков *Daphnia magna* Straus. Степень токсичности вод устанавливали согласно модифицированному классификатору [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполняемые на протяжении 4 лет комплексные исследования в районе расположения садковых форелевых хозяйств показали, что изменения качественного состава водной среды и состояния ее биоты в основном не выходят за пределы многолетних характеристик экосистемы Кондопожской губы.

Величина показателя активной реакции воды рН в зоне садков и на исследованной акватории губы в летний период колебалась от 6.90 до 7.50 на поверхности и от 6.80 до 7.40 у дна. В период осенней гомотермии показатели рН также мало варьировали (6.87–7.25 и 6.70–7.25 соответственно) и существенно не отличались от летних.

Содержание ОВ в районе садков и на акватории Кондопожской губы в период исследований также сохранялось в пределах многолетнего диапазона (табл. 1). Величины перманганатной окисляемости



Карта-схема района гидрохимических и гидробиологических исследований на Кондопожской губе Онежского оз.

(ПО) в районе садков за весь исследованный период летом изменялись в пределах 11.3–13.3 мг О/л и практически не отличались от величин на контрольных станциях, расположенных в 500 м от садков (10.6–13.6 мг О/л). С установлением осенней гомотермии легко окисляемая органика по всей толще воды как у садков, так и на исследованной акватории губы, распределялась равномерно. В целом осенью величины окисляемости снижались по сравнению с летними показателями, исключая осень 2004 г. (табл. 1).

Показатели БПК₅ в районе садков летом за все годы наблюдений на поверхности были более низкими, чем у дна (на 13–15%). В это же время на

станциях, удаленных от садков, содержание биохимически лабильной органики по всей толще воды было однородным. В период осеннего перемешивания вод количество биохимически нестойкого ОБ, как у садков, так и на всей исследованной акватории, снижалось и распределялось в толще воды равномерно.

Таким образом, по абсолютным показателям содержание легко окисляемого и биохимически лабильного ОБ за последние 4 года на акватории губы, в том числе и в зоне размещения садков, сохранялось в пределах многолетних колебаний.

Таблица 1. Содержание **ОВ** в водах Кондопожской губы в районе форелевых хозяйств (здесь и в табл. 2, 3 места отбора: 1 – 500 м к вершине губы, 2 – садки, 3 – 500 м в открыто озеро; числитель – значения показателя поверхностного горизонта, знаменатель – значения показателя придонного горизонта)

Показатели	Место отбора	Год, сезон		
		2004	2006	2007
Лето				
Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /л	1	12.6	11.5	12.6
		12.8	11.2	12.8
	2	13.2	11.6	13.3
		13.1	11.3	12.8
	3	10.6	11.4	13.6
		10.8	11.2	12.4
БПК ₅ , мг О ₂ /л	1	1.71	1.24	1.24
		1.36	1.16	1.35
	2	1.67	1.30	1.35
		1.92	1.58	1.59
	3	1.64	1.28	1.08
		1.92	1.11	0.89
Осень				
Перманганатная окисляемость, мг О ₂ /л	1	12.4	8.6	9.8
		12.2	8.9	10.1
	2	13.0	8.7	9.5
		13.6	9.3	10.6
	3	13.4	8.4	10.1
		13.7	8.4	10.4
БПК ₅ , мг О ₂ /л	1	0.85	1.39	0.99
		0.70	1.54	0.76
	2	0.76	1.65	1.23
		0.89	1.41	1.34
	3	0.63	1.08	0.99
		0.70	1.53	0.92

Наряду с изучением динамики абсолютных показателей о влиянии садковых хозяйств на качество водной среды можно судить по соотношению между количеством компонента в зоне садков и тем же на контрольных станциях. Если величина этого соотношения (коэффициента) близка к единице, то негативное влияние садков на качество вод отсутствует. Вычисленные коэффициенты этого соотношения для легко окисляемых **ОВ** в 2004–2007 гг. изменялись летом от 1.23 до 0.98 в поверхностных слоях воды и от 1.21 до 1.00 – в придонных. Осенью диапазон колебаний был значительно меньше, на поверхности – от 1.05 до 0.97. Относительная стабильность исследуемых показателей или тенденция

их к снижению в конце исследуемого периода доказывают отсутствие негативного влияния исследованных садковых хозяйств на содержание легко окисляемых **ОВ** в водной среде.

Что касается биохимически лабильного **ОВ**, измеряемого по БПК₅, то на протяжении исследуемого периода происходило его накопление. Так, в поверхностном слое воды величина коэффициента увеличилась от 0.89 до 1.53, а в придонном – от 0.92 до 1.79. Это значит, что биохимически лабильное **ОВ** в основном накапливается в придонных слоях водной толщи. Его источником главным образом служат остатки корма и конечные продукты метаболизма рыб, выращиваемых в садках.

Динамика биогенных элементов в водной среде у садков и на акватории Кондопожской губы исследовалась по содержанию аммонийных и нитратных ионов, а также по количеству органического и минерального **P**.

Из материалов, приведенных в табл. 2 и 3, следует, что концентрации этих ионов в районе садков и на контрольных станциях адекватно изменялись относительно друг друга. Об этом можно судить не только по динамике абсолютных показателей, но и по величинам коэффициентов – частных от деления величин содержания исследуемых ингредиентов в районе садков и в контроле. Летом и осенью величины коэффициентов по аммонийному **N** были ~1.0. Аналогичные результаты (за исключением 2004 г.) получены по динамике нитратного **N** (на поверхности 0.84–1.33 и у дна 0.79–1.29).

Содержание растворенных в воде фосфорных соединений (**P**_{общ}) летом на контрольных станциях колебалось в пределах 10–14 мкг **P**/л на поверхности, 14–22 мкг **P**/л у дна. В районе садков количество фосфорных соединений было в 2 раза выше (на поверхности 12–20, у дна 12–36 мкг **P**/л). В период осенней гомотермии **P** распределялся более равномерно как по акватории, так и по глубине. Количество **P**_{общ} в контроле составляло 6–20 мкг **P**/л на поверхности и 5–20 мкг **P**/л у дна, в районе садков – 7–20 и 10–32 мкг **P**/л соответственно. Максимальные величины коэффициента соотношения садок–контроль достигали на поверхности (1.82) и у дна (5.80).

Содержание органических соединений **P** (**P**_{орг}) летом на контрольных станциях колебалось в пределах 1–8 мкг **P**/л на поверхности и 0–8 мкг **P**/л у дна. В районе садков количество фосфорной органики было соизмеримо (0–7 мкг **P**/л на поверхности и 2–7 мкг **P**/л у дна), за исключением пробы, отобранной в 2004 г. в придонном горизонте, где содержание **P**_{орг} было в 2 раза выше, чем на контрольных станциях (15 мкг **P**/л). Осенью картина распределения растворенных форм **P**_{орг} была аналогичной. Количество **P**_{орг} на контрольных станциях составляло 3–13 мкг **P**/л на поверхности и 3–11 мкг **P**/л у дна, в районе садков – 3–9 и 6–10 мкг **P**/л соответ-

ственно. Как и летом, высокое содержание $P_{орг}$ отмечено в придонных слоях под садками в 2004 г. (16 мкг Р/л).

Количество $P_{мин}$ летом непосредственно у садков (9–16 мкг Р/л на поверхности и 11–24 мкг Р/л у дна) незначительно превышало его содержание на контрольных станциях (5–15 и 10–14 мкг Р/л соответственно). Осенью его количество на всем исследованном участке губы уменьшалось. В контроле их было на поверхности 2–7, у дна 2–9 мкгР/л. У садков в это время содержание $P_{мин}$ было несколько больше: 4–10 мкг Р/л на поверхности, 3–20 мкг Р/л у дна (табл. 3). Об увеличенном количестве $P_{мин}$ у садков по сравнению с контролем можно судить и по величинам коэффициентов соотношения садок–контроль. Летом его величина достигала 2.67 на поверхности и 2.40 у дна. Осенью максимум этого показателя был 1.67 на поверхности и 6.50 у дна. Максимальные величины абсолютных показателей и коэффициентов соотношения показывают, что в районе расположения садков происходит накопление $P_{мин}$.

Результаты проведенных исследований показали, что химический состав вод Кондопожской губы в месте расположения форелевых хозяйств в основном определяется переносом и трансформацией вод вершинной части губы, испытывающих сильную антропогенную нагрузку, и в очень малой степени зависит от деятельности форелевых хозяйств. Содержание определяемых химических компонентов в районе форелевых хозяйств в силу происходящих в Кондопожской губе синоптических и гидродинамических процессов заметно варьировало по годам и сезонам, но, как правило, не зависело от места отбора проб, за исключением содержания биохимически лабильного ОВ и соединений Р. В течение всего периода наблюдений отмечалось увеличение концентрации лабильного ОВ и соединений Р непосредственно у садков. Содержание $P_{общ}$ в придонных горизонтах под садками в 2 раза превышало его количество на контрольных станциях. Это явление может быть обусловлено трансформацией остатков корма и наличием конечных продуктов метаболизма рыб, а также высоким содержанием фитопланктона.

Влияние садковых хозяйств на качественные и количественные показатели биоты исследовалось на уровне первичной (фитопланктон) и вторичной (зоопланктон, бентос) продукции.

В качественном составе фитопланктона существенных изменений не было отмечено. Как и в большинстве водоемов бореальной зоны, доминировали диатомовые водоросли. Среди них массовыми видами были *Aulacoseira italica* var. *tenuissima*, *Aulacoseira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Fragilaria crotonensis*. В районе садков фитопланктон был более разнообразен. Здесь, кроме диатомовых, присутствовали синезеленые (*Glео-*

Таблица 2. Содержание N в водах Кондопожской губы в районе форелевых хозяйств

N, мг N/л	Место отбора	Год		
		2004	2006	2007
Лето				
Аммонийный	1	<u>0.19</u>	<u>0.22</u>	<u>0.33</u>
		<u>0.16</u>	<u>0.22</u>	<u>0.34</u>
	2	<u>0.20</u>	<u>0.23</u>	<u>0.34</u>
		<u>0.17</u>	<u>0.28</u>	<u>0.32</u>
	3	<u>0.20</u>	<u>0.15</u>	<u>0.32</u>
		<u>0.17</u>	<u>0.31</u>	<u>0.30</u>
Нитратный	1	<u>0.15</u>	<u>0.12</u>	<u>0.41</u>
		<u>0.18</u>	<u>0.19</u>	<u>0.47</u>
	2	<u>0.17</u>	<u>0.16</u>	<u>0.36</u>
		<u>0.18</u>	<u>0.22</u>	<u>0.37</u>
	3	<u>0.18</u>	<u>0.14</u>	<u>0.30</u>
		<u>0.17</u>	<u>0.17</u>	<u>0.45</u>
Осень				
Аммонийный	1	<u>0.24</u>	<u>0.26</u>	<u>0.31</u>
		<u>0.18</u>	<u>0.27</u>	<u>0.28</u>
	2	<u>0.16</u>	<u>0.25</u>	<u>0.30</u>
		<u>0.16</u>	<u>0.26</u>	<u>0.29</u>
	3	<u>0.13</u>	<u>0.24</u>	<u>0.34</u>
		<u>0.13</u>	<u>0.24</u>	<u>0.31</u>
Нитратный	1	<u>0.08</u>	<u>0.30</u>	<u>0.18</u>
		<u>0.11</u>	<u>0.31</u>	<u>0.21</u>
	2	<u>0.11</u>	<u>0.34</u>	<u>0.16</u>
		<u>0.08</u>	<u>0.29</u>	<u>0.21</u>
	3	<u>0.03</u>	<u>0.30</u>	<u>0.19</u>
		<u>0.05</u>	<u>0.30</u>	<u>0.20</u>

capsa turgida и *Oscillatoria* sp.), золотистые (*Mallomonas* acaroids), зеленые (*Scenedesmus*) и пиррофитовые (*Glenodinium guadridentis*) водоросли. Однако все они были представлены единично.

Количественные характеристики развития фитопланктона в разные годы были весьма разнообразны (табл. 4). Очень низкими были численность (113–127 тыс. кл/л) и биомасса (0.19–0.23 г/м³) в 2004 г. В 2006 г. эти показатели увеличились почти в 10 раз и одновременно возрос диапазон колебаний (617–1186 тыс. кл/л и 1.28–2.14 г/м³ соответственно). Уровень развития водорослей в 2007 г. был еще выше (3784–4586 тыс. кл/л и 5.43–6.79 г/м³ соответственно) (табл. 4).

В распределении водорослей по акватории водоема прослеживалось увеличение количественных характеристик от открытого озера в сторону верши-

Таблица 3. Содержание Р в водах Кондопожской губы в районе форелевых хозяйств

Р, мкг Р/л	Место отбора	Год		
		2004	2006	2007
Лето				
Минеральный	1	$\frac{7}{14}$	$\frac{5}{15}$	$\frac{5}{12}$
	2	$\frac{16}{16}$	$\frac{11}{24}$	$\frac{9}{11}$
	3	$\frac{6}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{9}{10}$
Органический	1	$\frac{7}{0}$	$\frac{7}{7}$	$\frac{7}{2}$
	2	$\frac{0}{15}$	$\frac{7}{4}$	$\frac{4}{7}$
	3	$\frac{8}{6}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{1}{4}$
Общий	1	$\frac{14}{14}$	$\frac{12}{22}$	$\frac{12}{14}$
	2	$\frac{16}{31}$	$\frac{18}{28}$	$\frac{13}{18}$
	3	$\frac{14}{16}$	$\frac{12}{18}$	$\frac{10}{14}$
Осень				
Минеральный	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{7}{10}$
	2	$\frac{5}{13}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{10}{19}$
	3	$\frac{2}{2}$	$\frac{5}{6}$	$\frac{7}{9}$
Органический	1	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{10}$
	2	$\frac{6}{16}$	$\frac{3}{6}$	$\frac{9}{10}$
	3	$\frac{4}{3}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{13}{11}$
Общий	1	$\frac{10}{12}$	$\frac{8}{10}$	$\frac{15}{20}$
	2	$\frac{11}{29}$	$\frac{8}{11}$	$\frac{19}{29}$
	3	$\frac{6}{5}$	$\frac{11}{10}$	$\frac{20}{20}$

ны губы, где расположен г. Кондопога. Такой порядок естественен при распределении гидробионтов от пелагиали к литорали. Индексы сапробности изменялись в пределах 1.98–2.05, что укладывается в границы значений мезосапробной зоны.

Несмотря на сложную динамику количественных показателей развития фитопланктона можно отметить, что влияние садкового хозяйства на численность фитопланктона проявляется сильнее, чем на его биомассу. Это можно хорошо проследить по динамике коэффициентов, представляющих частное от деления количественных показателей фитопланктона в районе садков на аналогичные показатели в контроле. На протяжении всего периода исследований величина данного коэффициента по численности фитопланктона (для контрольной станции в открытом озере) была 1.02–1.92 (средняя 1.14). Это значит, что численность водорослей в районе садков была почти равна (2007 г.) контрольным показателям или превышала их (2006 г.). Различия биомасс в районе садков и в контроле были значительно меньше (коэффициент 0.95–1.36). Динамика количественных показателей фитопланктона в основном совпадает с изменениями содержания в водной среде биохимически лабильного ОР и соединений Р. Это значит, что формирование биогенной части качественных показателей воды и количественных показателей первичной продукции осуществляется не только под влиянием природных факторов, но и при воздействии функционирующих садковых хозяйств.

В составе планктонной фауны в исследованном районе летом было выявлено 40 видов. К числу массовых видов относились из копепоид Thermocyclops oithonoides, Mesocyclops leuckarti и Eudiaptomus gracilis, из клadoцер – Bosmina obtusirostris, а среди коловраток – Asplanchna priodonta, Conochilus unicornis, Kellicottia longispina и Keratella cochlearis.

Ведущая роль в формировании количественных показателей зоопланктона в основном принадлежала коловраткам, которые составляли 34–86% общей численности и 31–80% общей биомассы. Доля рачкового планктона в отдельные годы достигала 42% численности и 64% биомассы планктонных организмов.

Колебания численности и биомассы зоопланктона по годам в районе садков составили 65.1–165.4 тыс. экз/м³ и 0.53–2.03 г/м³ соответственно и были сопоставимы с показателями контрольных станций, где численность изменялась от 49.7 до 170.7 тыс. экз/м³, а биомасса от 0.42 до 2.70 г/м³ (табл. 5).

Несмотря на сходные пределы колебаний количественных показателей состояния зоопланктона имеются некоторые различия в его состоянии в районе садков и в контроле. Это хорошо прослеживается по вычисленным коэффициентам (хозяйство/контроль в открытом озере), величины

Таблица 4. Количественные показатели развития летнего фитопланктона Кондопожской губы Онежского оз. (N – численность, тыс. кл/л, B – биомасса, г/м³, S – индекс сапробности)

Год	500 м к вершине губы			Садки			500 м в открытое озеро		
	N	B	S	N	B	S	N	B	S
2004	126	0.23	1.99	127	0.19	1.89	113	0.20	1.99
2006	1078	2.14	1.98	1186	1.75	1.84	617	1.28	2.01
2007	4586	6.79	2.05	3843	5.43	1.95	3784	5.68	2.05
Среднее	1930	3.05	2.01	1719	2.45	1.89	1505	3.03	2.01

Таблица 5. Количественные характеристики зоопланктона и зообентоса Кондопожской губы Онежского оз. в районе форелевых хозяйств (зоопланктон: N – численность, тыс. экз/м², B – биомасса, г/м³, S – индекс сапробности; зообентос: N – численность, экз/м², B – биомасса, г/м², S – индекс сапробности)

Год	500 м к вершине губы			Садки			500 м в открытое озеро		
	N	B	S	N	B	S	N	B	S
Зоопланктон									
2004	84.2	1.47	1.73	82.9	2.03	1.73	79.8	2.70	1.69
2006	170.7	1.13	1.73	165.7	0.91	1.74	95.0	0.52	1.73
2007	71.2	0.76	1.71	65.2	0.53	1.70	49.7	0.42	1.73
Среднее	108.7	1.12	1.72	104.4	1.16	1.72	74.8	1.21	1.72
Зообентос									
2004	280	1.12	2.3	150	0.26	2.0	400	1.72	2.2
2006	780	3.78	2.0	170	0.22	2.0	280	0.64	2.3
2007	1120	8.60	2.7	350	1.94	2.2	520	1.20	2.5
Среднее	727	4.50	2.3	223	0.81	2.1	400	1.19	2.3

которых были >1 (за исключением 2004 г.). Если в 2004 г. коэффициенты по численности и биомассе были равны 1.03 и 0.75, то в 2006 г. – 1.74 и 1.75 соответственно. В 2007 г. эти показатели составили соответственно 1.31 и 1.26. Это значит, что в 2006 г. количественные показатели зоопланктона в районе садков были на 74% по численности и на 75% по биомассе выше в сравнении с контролем в озерной части губы. В 2007 г. эти различия также отмечались, но были несколько меньше (31 и 26% соответственно). Индексы сапробности водных масс в районе садков и в контроле были почти стабильными (1.69–1.74). Воды всей акватории Кондопожской губы по величине этих показателей можно отнести к группе β -мезосапробных или умеренно загрязненных.

На протяжении периода исследований существенных изменений в качественном составе донных организмов в Кондопожской губе не выявлено. В составе зообентоса обнаружены представители 11 систематических групп донных беспозвоночных. Доминирующее положение занимали личинки хирономид (20 видов и форм), среди которых численное обилие семейства определяли эврибионтные

личинки родов *Chironomus* и *Procladius*, а также *Stictochironomus histrio* и *Sergentia longiventris*.

В количественном отношении хирономиды составляли 43–95% численности и 33–97% биомассы бентоса. Численность олигохет в различные периоды исследований колебалась от 10 до 39% общей численности и от 4 до 33% биомассы донных ценозов. Моллюски распределены по всей акватории водоема, но их количественные показатели невелики. Из прочих групп донной фауны единично встречались личинки ручейников, двукрылых, хаборус, амфиподы, нематоды и другие.

Показатели количественного развития бентоса в летний период колебались по годам в следующих пределах: в районе садков численность – 150–350 экз/м², биомасса – 0.22–1.94 г/м²; в контроле открытого озера – 280–520 экз/м² и 0.64–8.60 г/м² соответственно (табл. 5).

В отличие от других представителей гидробионтов в районе садкового хозяйства отмечены низкие показатели количественного развития донной фауны. Исключение из этого правила составила биомасса бентоса в 2007 г. Ее абсолютная величина превысила озерный контроль в 1.6 раза. Во все другие годы исследования биомасса донных беспозвоноч-

ных в районе садков не превышала показателей контроля. Это явление также хорошо подтверждается вычисленными коэффициентами (садок/озерный контроль). В 2007 г. коэффициент по биомассе равнялся 1.62, а в предыдущие годы его величина не превышала 0.68 (минимум 0.15).

Относительно невысокий уровень зообентоса непосредственно в районе садков, возможно, обусловлен тем, что используемые для выращивания форели корма привлекают других рыб (бентофагов), которые более интенсивно выедают донные организмы в указанном районе. Наряду с этим на скорость роста донных организмов могли оказать влияние конечные продукты метаболизма вырабатываемых в садках рыб, а также синезеленые и диатомовые водоросли, интенсивно развивающиеся в районе садков.

Соотношение отдельных групп донной фауны и рассчитанные по индикаторным видам индексы сапробности (2.0–2.7) характеризуют водные массы исследованного района как β -мезосапробные или умеренно загрязненные.

Важнейший элемент экологического мониторинга — биотестирование — интегральный метод оперативного контроля качества среды при многокомпонентном загрязнении.

Экспериментальное изучение биологических свойств озерной воды в зоне влияния садковых хозяйств с помощью лабораторной монокультуры дафний показало, что водная среда в этом районе характеризовалась высокой витальностью и в большинстве случаев (70%) была нормативной по своей биокондиции. Зарегистрированные при этом изменения в функционировании рачков (снижение пищевой активности и воспроизводства) были незначимы.

В ряде проб (30%), отобранных осенью в конце вегетационного периода, у подопытных тест-организмов отмечены нарушения жизнедеятельности как статистически достоверные, так и в виде тенденции на границе значимости. Регистрируемые отклонения от нормы были в основном связаны с угнетением пищеварительной функции: активности питания и пищеварительного процесса, что способствовало снижению темпа роста ракообразных в опытной среде и уменьшению длины рачков по сравнению с контрольным уровнем. Нарушение репродукции партеногенетических самок было отмечено однократно в виде снижения реальной плодовитости на 40% по сравнению с контролем.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали, что химический состав вод Кондопожской губы в месте расположения форелевых хозяйств в основном определяется переносом и трансформацией вод в вершинной части губы, испытывающих сильную антропоген-

ную нагрузку, и очень мало зависит от деятельности форелевых хозяйств. Выявлены лишь изменения в содержании биохимически лабильных компонентов и соединений Р. Эти изменения проявлялись более четко в придонных слоях воды, по сравнению с поверхностным слоем, непосредственно под садками. Так, содержание Р в районе садковых хозяйств было в 2 раза выше, чем в контроле.

Флористически фитопланктон Кондопожской губы характеризуется как диатомовый, типичный для бореальной зоны. Уровень количественного развития водорослей был высоким (за исключением 2004 г.), максимальная численность достигала 4586 тыс. кл/л, максимальная биомасса — 6.79 г/м³. В распределении по акватории водоема отмечено некоторое увеличение количественных показателей развития водорослей по направлению к вершинной части губы. Индексы сапробности характеризуют качество воды как удовлетворительное. Стимулирующее влияние рыбоводных садков на фитопланктон Кондопожской губы четко проявилось лишь в 2006 г. Более чувствительной к функционирующей системе садков оказалась численность водорослей, что указывает на изменение их индивидуального веса.

Анализ изучения зоопланктона в районе хозяйств показал, что большая его часть представлена коловратками (до 86% численности и до 80% биомассы). Численность рачкового планктона достигала 48% и биомасса — 64%. По величине относительных показателей влияние садковых хозяйств достоверно проявлялось в численности зоопланктона (средний коэффициент 1.4) и в уровне значимости на его биомассе (средний коэффициент 0.96). Доминирующие комплексы организмов, видовой состав и показатели количественного развития зоопланктона в исследованном районе в летний период в целом согласовались со средними многолетними показателями ранее проведенных исследований в Кондопожской губе.

Среди донных организмов выявлены представители 11 систематических групп, качественный состав которых в период исследования оставался стабильным. Доминирующее положение занимали хирономиды, в отдельные годы их численность достигала 97%. Другие формы были представлены в незначительном количестве, <39%. В районе садков максимальная численность донных организмов равнялась 350 экз/м², биомасса — 1.94 г/м². Соответственно, в озерном контроле эти показатели были 520 экз/м² и 8.60 г/м². В отличие от высоких количественных показателей водорослей и зоопланктона численность и биомасса бентоса в зоне садков были меньше по сравнению с озерным контролем. Это, по-видимому, обусловлено скоплением местных видов рыб в районе садковых хозяйств.

Исследование качества воды биологическим методом показало, что озерная вода в зоне влияния форелевого хозяйства в течение всего периода на-

блюдений была относительно благоприятной для тест-культуры дафний, т.е. в основном сохраняла свои природные свойства. Ингибирующее воздействие на подопытных отдельных проб воды могло в равной степени определяться как антропогенным влиянием, так и природными факторами.

По величине исследованных показателей состояния биоты воды всей акватории Кондопожской губы относятся к группе β -мезосапробных или умеренно загрязненных. На этом фоне воздействие садковых хозяйств на качество водной среды и ее биоты при соблюдении технологии производства рыбной продукции можно считать минимальным. В настоящее время, в условиях комплексного использования водных ресурсов Карелии, необходимо строгое соблюдение технологического процесса в форелеводстве, которое развивается быстрыми темпами. Иначе можно ожидать, что выделяемые конечные продукты метаболизма выращиваемых рыб, попадающие в водную среду остатки корма и другие компоненты, не редуцируясь в течение длительного времени и накапливаясь, могут оказывать на нее выраженное негативное влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вилянская И.Г.* Современное состояние фитопланктона Кондопожской губы Онежского озера // Лимнология Кондопожской губы Онежского озера. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1986. С. 98–113.
2. *Вилянская И.Г.* Фитопланктон // Экосистема Онежского озера и тенденции ее изменения. Л.: Наука, 1990. С. 183–192.
3. *Вилянская И.Г.* Структура и динамика биомассы фитопланктона // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 146–158.
4. *Гольд З.Г., Глуценко Л.А., Морозова И.И. и др.* Оценка качества вод по химическим и биологическим показателям: пример классификации показателей для водной системы руч. Черемушный-Енисей // Вод. ресурсы. 2003. Т. 30. № 3. С. 335–345.
5. *Жадин В.И.* Методы гидробиологического исследования. М.: Высш. шк., 1960. 189 с.
6. *Жмур Н.С.* Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: АКВАРОС, 2001. 48 с.
7. *Киселев И.А.* Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956. Т. IV. Ч. 1. С. 213–215.
8. *Кожова О.М., Мельник Н.Г.* Инструкция по обработке проб зоопланктона счетным методом. Иркутск, 1978. 51 с.
9. *Куликова Т.П.* Рекомендации по определению сапробности с учетом биологических особенностей планктонных организмов Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. 6 с.
10. *Макрушин А.В.* Биологический анализ качества вод. Л.: Наука, 1974. 60 с.
11. Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975. С. 73–84.
12. *Новиков Ю.В.* Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.
13. Оценка качества поверхностных вод Кольского Севера по гидробиологическим показателям и данным биотестирования (практические рекомендации). Апатиты, 1988. 25 с.
14. РД 118-02-90. Методическое руководство по биотестированию воды. М., 1990. 48 с.
15. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
16. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2002. 118 с.
17. *Семенов А.Д.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
18. Унифицированные методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. М., 1975. 176 с.
19. *Усачев П.И.* Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Тр. Всесоюз. гидробиол. общества. 1961. Т. XI. С. 411–415.
20. *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.
21. *Sladeczek V.* System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. 1973. № 7. P. 210–218.