

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМА - ПРИЕМНИКА
И БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА НЕГО ПРИ ВЕДЕНИИ САДКОВОГО
РЫБОВОДСТВА**

В.Г. Костоусов, Т.И. Попиначенко, Т.Л. Баран, В.Д. Сенникова

*РУП «Институт рыбного хозяйства»,
220 024, ул. Стебенева, 22, г. Минск, Республика Беларусь,
belniirh@tut.by*

**ECOLOGICAL EVALUATION OF RECEIVING WATER RESERVOIR AND
BIOGENIC STRESS AT CAGE CULTURE FISHERY**

V. G. Kostousov, T. I. Popinachenko, I.I. Onoschko, T.L. Baran, V.D.Sennikova

*RUE «Fish Industry Institute»,
Stebeneva str., 22, Minsk, 220 024, Belarus, belniirh@tut.by*

Резюме. Рассматривается влияние садковой рыбной линии, установленной в озере, на биогенное загрязнение водоема. Приведены данные по гидрохимическому режиму водоема до и после установки садковой линии, развитию фито- и зоопланктона, уровню привносимой биогенной нагрузки. Показано, что основное загрязнение экосистемы идет от применяемых кормов и метаболитов рыб, но в отсутствие достаточного количества растворимых форм минерального фосфора избыточное повышение содержания минерального азота не вызывает структурной перестройки трофических звеньев водоема.

Ключевые слова: озеро, рыбное хозяйство, садки, эвтрофирование, качество вод, планктон

Abstract. There is investigated the effect of the cage culture fishery line formed in the lake on biogenic contamination of water reservoir. There is available the data on hydrochemical conditions of water reservoir prior and after establishing cage culture fishery line, development of phyto and zooplankton, level of biogenic stress introduced. There was shown that the main contamination of ecological system is caused by the fodder used and fish metabolite, but sufficient amount of dissolved forms of mineral phosphorous even the excessive increase of mineral nitrogen does not cause structural recombination of trophy elements of the water reservoir.

Key words: lake, fish breeding, cages, eutrophication, quality of waters, plankton

Введение

Выращивание рыбы в садках на базе естественных водоемов неизбежно сталкивается с проблемой загрязнения и ускоренной эвтрофикации водоемов –

приемников. По этой причине минимизация негативного воздействия процессов рыбоводства согласуется с определением оптимальной биогенной нагрузки и допустимого объема выращивания рыбы. Методические рекомендации, разработанные ранее (Методические указания ..., М., 1987, Нормы выращивания ..., М., 1988) [1, 2], не давали четкого определения нормирования биогенной нагрузки на экосистемы водоемов, лишь увязывая площадь садковых линий с площадью водоема. В литературных же источниках имеется большой фактический материал по выделению азота, фосфора, органических и взвешенных частиц на единицу объема или рыбоводной продукции [3 - 9]. Однако имеется всего несколько работ по комплексному изучению воздействия садковых линий на водные экосистемы, включая рекомендации фирм-разработчиков кормов для садкового рыбоводства [4, 9, 10] по расчету биогенной нагрузки. При выращивании рыбы в садках основными источниками загрязнения выступают вносимый корм и продукты метаболизма рыб. В расчетах используют несколько методических подходов, обосновывая их наличием фактического материала и точностью учета полученных результатов [8-10]. Анализ существующих методик позволил выделить те из них, которые применимы в условиях садкового комплекса участка «Рыбхоз «Новолукомльский» и, в перспективе, на прочих садковых хозяйствах Беларуси.

Материалы и методы

Объектом исследований служило оз. Слidy (Чашникский р-н Витебской обл.), на котором в 2010 г. была установлена садковая линия по выращиванию рыбы (сеголетки, маточное стадо и товарная форель, в последующие годы здесь же содержали ремонтные стада осетровых, европейского и канального сомов, а также выращивали сеголетков пеляди) в условиях естественного температурного фона. Первоначальное гидрохимическое обследование водоема до монтирования садковой линии проведено сотрудниками НИЛ озераведения БГУ [14], полученные данные могут служить базовыми для сравнения с материалами, полученными в ходе эксплуатации садковой линии. Площадь

водного зеркала озера – 55 га, максимальная глубина достигает 19,1 м, средняя составляет 6,8 м. Объем водных масс – 3,75 млн. м³. По показателю удельной водообменности характеризовалось как слабопроточное, по уровню трофности – слабоэвтрофное, среднеглубокое. Авторы проводили наблюдения в сезоны выращивания рыбы 2011-2012 гг. с использованием стандартных методик гидрохимических и гидробиологических исследований [12-14]. Расчет биогенного загрязнения от садкового рыбоводства проводили комбинированным методом - по содержанию биогенов (N + P) в кормах и по утилизирующей способности рыб [15].

Результаты исследований и их обсуждение

Гидрохимический режим. В 2011 г. трижды проводили отбор гидрохимических проб с целью определения сезонной динамики загрязнителей, вносимых выращиваемой рыбой и применяемыми кормами. В подледный период 2011/2012 гг. и в период открытой воды 2012 г. провели дополнительное обследование химического состава вод в целях формирования целостной картины сезонной динамики биогенной нагрузки (таблица 1) и влияния среды на результаты выращивания рыбы. Минеральный состав и вертикальное распределение ионов указывали на преобладание поверхностного стока в питании над грунтовым, а низкие колебания общей жесткости – на относительное постоянство минеральных компонентов химического состава воды. Закономерное возрастание концентраций аммонийного азота в июне по сравнению с фоновым объясняется началом интенсивного кормления рыбы искусственными кормами. По мере прогрева вод и усиления процессов денитрификации, концентрация ионов-аммония вновь понизилась до уровня естественного фона, но росло содержание нитратных форм. Минерализация и усвоение последних на фоне стабильно низких величин растворенного минерального фосфора предполагает наличие достаточной самоочищающей способности водоема, что подтверждается динамикой показателей перманганатной окисляемости (в пределах 6,0-11 мг О /л).

Таблица 1 – Химические показатели воды оз. Слидцы в разные периоды наблюдения и в сезоны 2011 и 2012гг.

Дата наблюдения, горизонт отбора проб	t °С	pH	Прозрач- ность, м	O ₂ , мг/л	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мгN/л	NO ₂ ⁻ , мгN/л	NO ₃ ⁻ , мгN/л	PO ₄ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Fe _{общ.} , мг/л	Жест- кость, мг- экв/л	Пер- манг. ок-ть, мгО/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
07.1983 поверхност.	22,8	8,5	3,2	9,13	48,72	20,95	0,275	Сл.	-	0,0	10,53	Сл.	4,0	6,8
07.1983 придонный	7,0	7,95	-	0,79	51,15	20,96	0,255	0,016	-	0,0	10,85	0,355	4,2	5,95
01.2007, 2,5м	3,8	8,22	-	11,3	64,73	23,17	0,23	0,010	Сл.	0,014	6,35	0,032	5,13	-
25.05.2011, поверхност.	21,4		1,2	6,24	40,0	23,1	0,10	0,004	0,12	0	7,1	0,35	3,9	10,7
25.05.2011, придонный	15,4		-	7,24	46,0	15,8	0,13	0,005	0,60	0,008	7,1	0,30	3,6	5,9
16.06.2011, поверхност.	22,8	9,1	2,4	6,87	42,0	17,0	0,42	0	0,34	0,006	7,8	0,22	3,5	9,1
16.06.2011, придонный	17,0	8,9	-	-	42,0	21,9	0,20	0,002	0,36	0	7,8	0,13	3,9	7,5
23.07.2011, поверхност.	24,1	9,0	1,2	11,2	38,0	18,0	0,07	0,004	0,85	0,010	-	0,02	3,4	6,3
23.07.2011, придонный	18,0	8,7	-	-	46,0	18,0	0,72	0,007	0,33	0,003	-	0,03	3,8	6,0
03.11.2011, поверхност.	-	8,2	1,1	-	42	19,5	0,38	0,007	0,85	0,015	-	0,04	3,7	9,37
03.11.2011, придон.	-	8,0	-	-	40	20,7	0,20	0,007	0,79	0,015	-	0,03	3,8	9,04
06.03.2012, поверхн.	0,3	9,3	2,2	10,53	48	18,2	0,025	0,002	-	0,010	-	0,01	3,9	6,28
06.03.2012, придонный	3,7	-	-	-	54	15,8	Сл.	Сл.	-	0,010	-	0,04	4,0	5,95

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
27.04.2012 поверхност.	11,6	8,0	1,2	9,69	44	18	0,25	0,006	0,91	0,016	-	0,04	3,7	6,59
27.04.2012 придонный	9,8	8,0	-	-	42	18	0,25	0,007	0,91	0,015	-	0,04	3,6	5,97
22.05.2012, поверхност.	22,6	8,5	1,5	8,72	42	17	0,22	0,002	0,19	0,006	-	0,03	3,5	10,90
22.05.2012, придонный	15,0	8,4	-	8,70	44	18	0,18	0,002	0,83	0,019	-	0,05	3,7	5,92
12.06.2012, поверхност.	19,8	8,7	3,0	5,71	40	22	Сл.	Сл.	0,73	Сл.	-	0,01	3,8	9,05
12.06.2012, придонный	14,6	8,6	-	6,10	44	19,5	Сл.	Сл.	1,02	0,015	-	0,08	3,8	7,7
24.06.2012, поверхност.	20,4	8,3	1,7	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.06.2012, придонный	16,8	8,0		5,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.07.2012, поверхност.	25,3	8,1	1,6	4,5	40	17	0,12	Сл.	0,26	0,005	-	0,008	3,4	8,46
12.07.2012, придонный	23,8	8,2		4,28	42	17	0,46	Сл.	2,15	0,010	-	0,005	3,5	8,84
26.07.2012	25,4/22,6	8,4/8,2	2,0	--	-	-			-	-	-	-	-	-
20.08.2012, поверхност.	20,2	8,5	2,4	4,86	38	20	0,26	0,002	0,53	0,010	-	0,008	3,5	21,50
20.08.2012, придон.	17,0	8,3	-	5,65	38	28	0,31	0,004	0,69	0,007	-	0,020	4,2	20,50

Наличие биогенных элементов (в т.ч. аллохтонного происхождения) стимулировало развитие фитопланктона, что нашло отражение в изменениях прозрачности воды, росте рН и кислородном насыщении. Развитие микроводорослей поддерживало уровень рН в период наблюдения на щелочном уровне (8,7 - 9,1) что способствовало наиболее полному связыванию свободной углекислоты и насыщению воды кислородом, в результате чего газовый режим в эпи- и металимнионе был весьма благоприятным. Анализ данных таблицы 1 показывал, что, несмотря на то, что водоем подвергается возрастающей биогенной нагрузке, характер основных химических процессов в начале 2012 г. не изменился. По мере прогревания водной массы формировалась стратификация, в результате которой отмечено возрастание концентрации ионов металлов и основных биогенных веществ от поверхности ко дну. В то же время, развитие органической жизни способствовало снижению содержания общего азота и переводу большей его части в усваиваемые формы. То же можно сказать и о минеральном фосфоре. В целом показатели химического состава воды к началу сезона выращивания не выходили за пределы значений, лимитирующих садковое рыбоводство.

В летний период 2012 г. температурный режим водоема лишь до конца июня соответствовал нормам для выращивания холодолюбивых рыб, после чего произошел прогрев водной массы выше допустимых величин (рисунок 1).

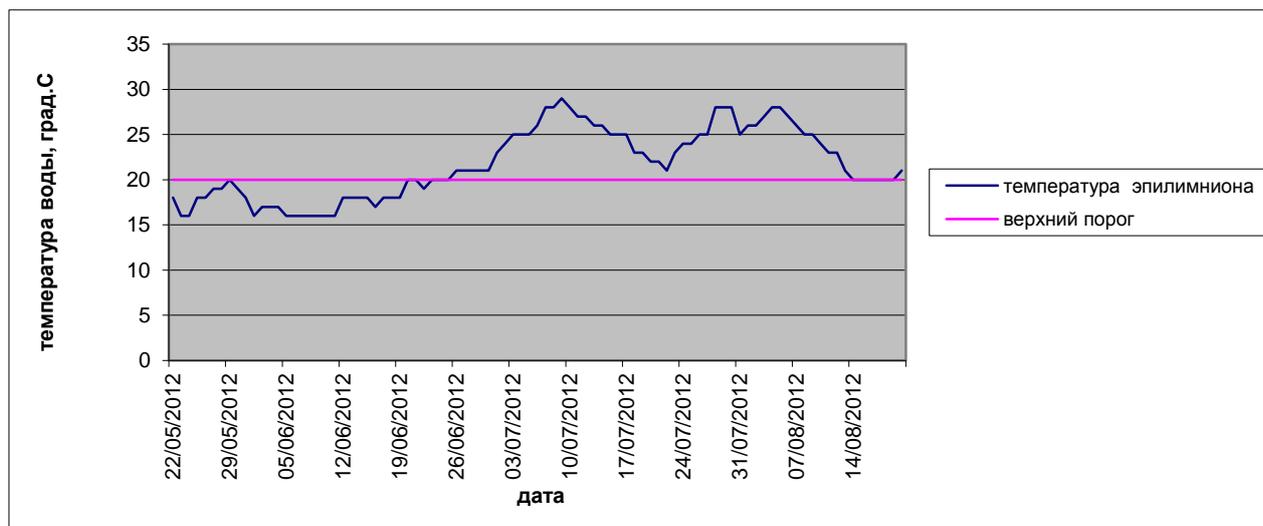


Рисунок 1 – Динамика температуры воды в оз. Слудцы по журналу наблюдения

Анализ данных диаграммы свидетельствует, что на протяжении июля - первой декады августа температура воды на поверхности и до горизонтов 4-5 м практически не опускалась ниже 23 °С, что превышало величины верхнего предела температуры для большинства лососевидных рыб (20 °С). Кроме того, с повышением температуры воды снижалась степень насыщения ее кислородом в эпилимнионе, что ухудшало газовый режим и создавало условия для возникновения гипоксии.

Ранний прогрев воды в сезон 2012 г. способствовал массовому развитию фитопланктона, в результате чего снизилась прозрачность воды и установилась ее щелочная реакция. Практически на протяжении всего периода наблюдений рН воды находилось на верхнем для выращиваемых рыб пределе допустимых значений или превышало их (таблица 2).

На этом фоне изменился и газовый режим. Уже к середине июня содержание кислорода в поверхностном слое находилось на уровне 5-6 мг/л, с некоторым колебанием от этих пределов в зоне металимниона, а к середине июля концентрация растворенного кислорода снизилась еще более (4,28-4,5 мг/л) (рисунок 2).

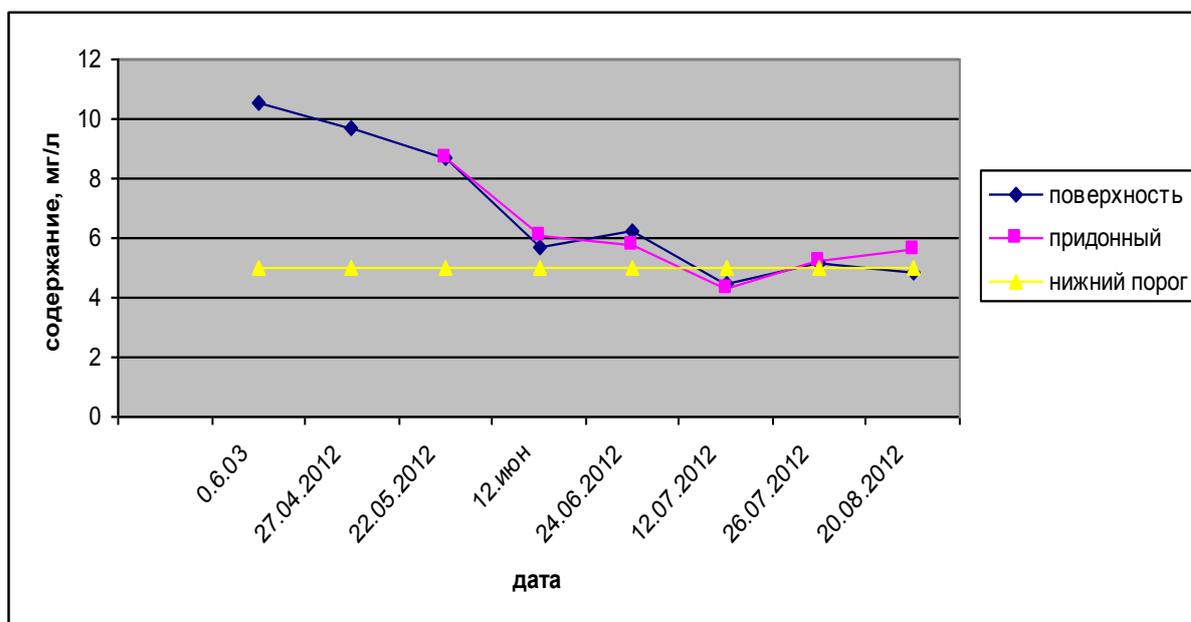


Рисунок 2 – Динамика содержания растворенного кислорода в воде оз. Слidy в 2012г.

Таблица 2- Показатели количественного развития зоопланктона оз. Слудцы, 2011-2012 гг.

Группы организмов	Численность		Биомасса	
	тыс.экз./м ³	%	г/м ³	%
25.05.2011				
Коловратки	3,5	15,0	0,04	9,8
Ветвистоусые	2,7	11,6	0,04	9,8
Веслоногие	17,1	73,4	0,33	80,4
Всего	23,3	100	0,41	100
16.06.2011				
Коловратки	5,5	2,6	0,02	0,5
Ветвистоусые	105,7	50,0	1,63	39,4
Веслоногие	100,2	47,4	2,49	60,1
Всего	211,4	100	4,14	100
23.07.2011				
Коловратки	18,4	15,7	0,03	0,9
Ветвистоусые	22,1	18,9	1,0	29,4
Веслоногие	76,6	65,4	2,37	69,7
Всего	117,1	100	3,4	100
12.10.2011				
Коловратки	12,4	14,0	0,15	11,1
Ветвистоусые	25,7	29,0	0,78	57,8
Веслоногие	50,5	57,0	0,42	31,1
Всего	88,6	100	1,35	100
6.03.2012 г.				
Коловратки	16,5	19,5	0,02	1,3
Ветвистоусые	18,4	21,8	0,29	19,5
Веслоногие	49,5	58,7	1,18	79,2
Всего	84,4	100	1,49	100
27.04.2012 г.				
Коловратки	59,9	26,3	0,14	7,2
Ветвистоусые	2,9	1,3	0,09	4,6
Веслоногие	164,6	72,4	1,72	88,2
Всего	227,4	100	1,95	100
22.05. 2012 г.				
Коловратки	99,7	30,8	0,87	15,3
Ветвистоусые	59,4	18,3	1,23	21,7
Веслоногие	164,8	50,9	3,58	63,0
Всего	323,9	100	5,68	100
12.06.2012г.				
Коловратки	37,5	10,7	0,76	11,1
Ветвистоусые	193,5	55,3	3,34	48,8
Веслоногие	118,8	34,0	2,74	40,1
Всего	349,8	100	6,84	100
12.07.2012г.				
Коловратки	10,4	8,9	0,25	7,3
Ветвистоусые	54,5	46,6	1,35	39,9
Веслоногие	52,1	44,5	1,79	52,8
Всего	117,0	100	3,39	100
20.08.2012г.				
Коловратки	3,8	7,7	0,01	0,9
Ветвистоусые	21,2	42,7	0,39	33,6
Веслоногие	24,6	49,6	0,76	65,5
Всего	49,6	100	1,16	100

Из прочих лимитирующих показателей следует отметить концентрацию аммонийного азота и перманганатную окисляемость. Нормальные концентрации ионов аммония (аммонийный азот) для молоди лососевых находятся в пределах 0,10-0,40 и свидетельствуют о нормальном режиме метаболизма; повышенные (0,30-0,50 мг/л) – о формировании напряженных условий среды; выше – 0,50- недопустимые значения, поскольку при повышенном значении рН появляется неионизированный аммиак (NH₃).

В анализируемый период реакция среды была постоянно щелочной, а значения аммонийного азота практически достигали критических. То же можно сказать и по перманганатной окисляемости. Рост ее показателей к концу летнего сезона указывает на наличие органического загрязнения, что, возможно, было связано с условиями содержания и кормления рыбы в садках (таблица 1).

Фитопланктон. Видовой состав и степень развития водорослевого сообщества является одним из факторов, подтверждающих трофический статус озер. Сообщество микроводорослей (фитопланктона) оз. Слidy в период исследований было представлено 21 таксоном, относимым к 6 отделам. По видовому разнообразию преобладали диатомовые (9) и зеленые (6) водоросли, прочие отделы были представлены 1-2 таксонами. По численности клеток преобладали диатомовые (57-67,2 %), по биомассе в первой половине сезона – зеленые (50,3 %), во второй – сине-зеленые (75,1 %). Среднесезонная численность водорослей составила 1,405 млн.кл./л (с колебаниями от 0,67 до 2,14 млн.кл./л), биомасса – 4,051 мг/л (3,01-5,091 мг/л). Доминировавшие на первых этапах холодолюбивые диатомовые утратили свое значение к середине июня 2012 г., что было вызвано прогревом водной массы. Некоторая вспышка их развития в середине июля обеспечивалась изменением погодных условий, приведших к увеличению вертикальной циркуляции водных масс и выносу более глубоких слоев на поверхность. Очередная волна тепла во второй половине июля свела долю диатомей к минимуму, дав возможность росту доли сине-зеленых. Рост численности сине-зеленых во второй половине сезона 2012

г. свидетельствует о структурных перестройках в составе сообщества, происходящих на фоне азотного загрязнения (рисунок 3).

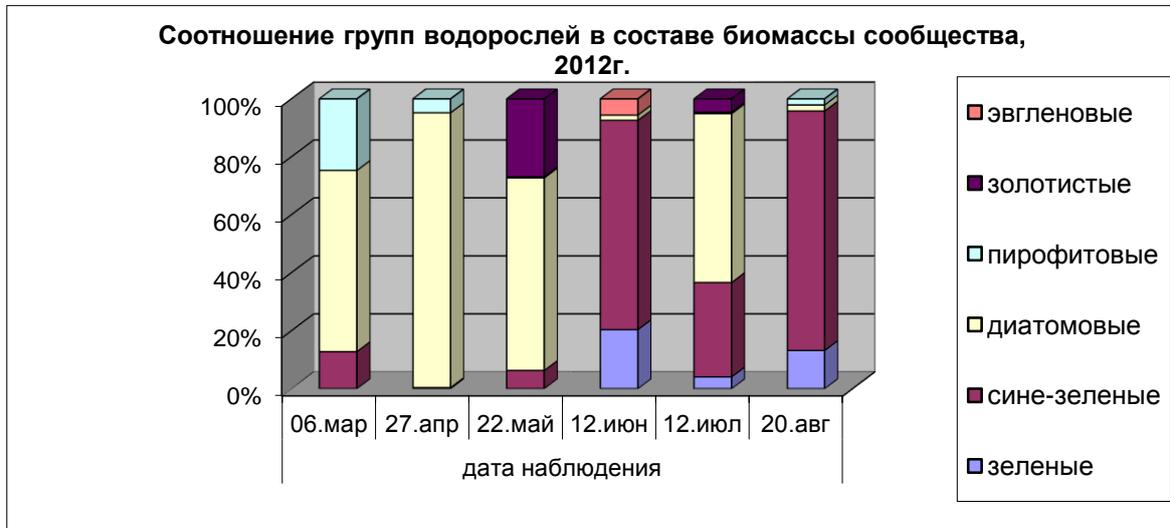


Рисунок 3 – Динамика изменения соотношения групп водорослей в биомассе фитопланктона оз. Слидцы

Однако, дефицит фосфора в этот период лимитировал чрезмерное развитие сине-зеленых, тем самым, свидетельствуя об имеющих место процессах самоочищения. В целом по уровню развития фитопланктона и смене доминирующих групп, можно судить, что водоем перешел в эвтрофную стадию. Динамика биомасс водорослей в озере характеризовалась нарастанием величин к концу сезона после предшествующего спада, при смене доминирующих групп (рисунок 4).



Рисунок 4 – Динамика развития фитопланктона оз. Слидцы

Зоопланктон. С момента таяния ледового покрова и до июня наблюдалась тенденция роста количественных показателей сообщества зоопланктона, после июня - спад развития (таблица 2). Превышение количественных показателей 2012 г. над аналогичными 2011 г. могут объясняться как погодными условиями, так и следствием нарастающего воздействия эвтрофирующего фактора рыбоводства (рисунок 5)

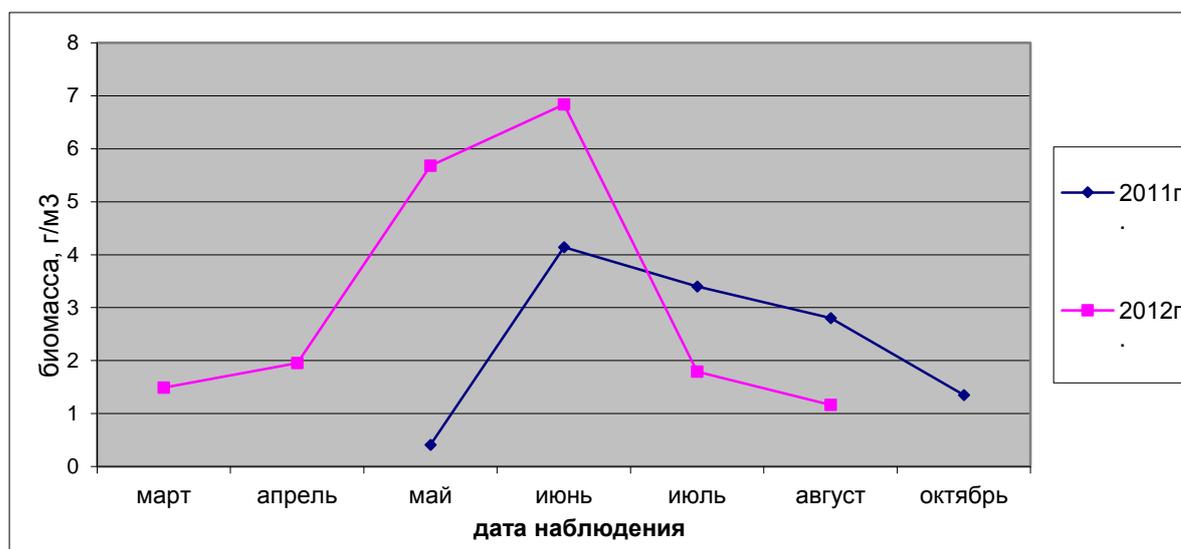


Рисунок 5 – Динамика развития биомасс зоопланктона оз. Слидцы

В весенний период наблюдений отмечено стойкое доминирование веслоногих ракообразных, как по численности (50,9-72,4 %), так и по биомассе (63,0 - 88,2 %). Численность и биомасса ветвистоусых увеличились до значимых величин (18,3 и 21,7 % соответственно) только в мае, тогда как в предшествующий период уступали коловраткам. К завершению вегетационного сезона вновь обозначается доминирование веслоногих по всем показателям развития. Динамика биомасс зоопланктона в оз. Слидцы имела тенденцию к снижению от весеннего максимума к летнему минимуму.

Расчет загрязнения от рыбоводства. При выращивании рыбы в садках на базе естественных водоемов основными источниками загрязнения выступают используемые в процессе выращивания корма и продукты метаболизма рыб, выделяемые с фекалиями и через жабры. Как установлено, в процессе эвтрофирования естественных водоемов лимитирующими факторами служат соединения азота и фосфора.

Основная масса кормов, использованных в 2011 г. для кормления рыбы в садках, была представлена форелевым комбикормом Royal silver (Rehuraio oy, Финляндия) и фаршем из частиковых рыб. В 2011 г. было скормлено 11 т комбикорма и 3 т фарша. В 2012 г. соответственно – 7,24 т форелевого комбикорма Aller aqua (Польша) и 3,05 т рыбного фарша.

Учитывая небольшой срок передержки молоди форели и отсутствие данных по вылову, количеством кормов, задействованных на этой операции, в расчетах можно пренебречь. Основным источником азота в корме является белок (сырой протеин), количество которого указывается производителем. Содержание азота корма в спецификациях непосредственно не указывается, поэтому в расчетах можно использовать те данные производителей, которые используются при расчетах энергетического баланса [15, 16]. Количество азота, содержащегося в протеине корма, вычисляют от общего количества белка путем его деления на 6,25. В частности, в анализируемом корме при общем содержании сырого протеина 36 %, содержание азота составит $36 : 6,25 = 5,76$ % или 57,6 г/кг корма. Основным источником фосфора в корме служит рыбная мука, являющаяся незаменимым компонентом большинства видов кормов для ценных видов рыб. Обычно рыбная мука хорошего качества содержит около 2 % фосфора. Содержание фосфора в кормах анализируемой фирмы дается самим производителем в процентах, в этом случае в расчеты целесообразно вводить именно последние величины. Так, по анализируемой группе кормов содержание фосфатов составляет 0,9 %, т.е. 9 г на кг корма.

В расчете биогенной нагрузки необходимо учитывать связанные в рыбе количества азота и фосфора, т.е. часть валового количества этих элементов, получаемых с кормами и утилизируемых непосредственно на прирост массы. По большинству видов рыб принято, что количество связанного в рыбе фосфора составляет 4 г на кг прироста. Количество связанного азота составляет 27,5 г на кг прироста массы. Говоря о потребности рыбы в фосфоре, необходимо учитывать то, что только часть входящего в корма минерального фосфора имеет применимую для рыбы форму (биологически усваиваемый

фосфор), тогда как прочие формы пребывают в связанном состоянии. Количество усваиваемого фосфора зависит от белкового содержания корма. Фосфор качественной рыбной муки усваивается в наиболее полной форме, тогда как из растительного белка полезно использоваться может только небольшая часть.

Исходные данные расчета биогенной нагрузки от использования форелевых кормов в 2011 г. следующие:

- прирост осетровых – 2339 кг;
- прирост форели – 1038 кг;
- расход кормов общий – 11050 кг;
- белок корма – 36% или 57,6 г/кг;
- общее содержание фосфора в корме – 9 г/кг;
- связанный в рыбе азот – 27,5 г/кг;
- связанный в рыбе фосфор – 4 г/кг;
- доля фосфора фекалий рыб, эффективно усваиваемых водорослями – 36 %.

1. Фосфорная нагрузка:

Количество фосфора, скормленного с кормами $9 \text{ г} \times 11050 \text{ кг} = 99450 \text{ г} = 99,5 \text{ кг}$.

Количество фосфора корма связанного с приростом $4 \text{ г} \times 3377 \text{ кг} = 13508 \text{ г} = 13,5 \text{ кг}$.

Удельная нагрузка от фосфора $99,5 - 13,5 = 86 \text{ кг}$

2. Азотная нагрузка:

Количество азота, скормленного с кормами $57,6 \text{ г} \times 11050 \text{ кг} = 636480 \text{ г} = 636,5 \text{ кг}$.

Количество азота корма связанного с приростом $27,5 \text{ г} \times 3377 \text{ кг} = 92868 \text{ г} = 92,9 \text{ кг}$.

Удельная нагрузка от азота $636,5 - 92,9 = 543,6 \text{ кг}$

Помимо заводских кормов, в процессе выращивания рыбы (сома) использовали рыбный фарш, что также необходимо учитывать в балансе

биогенов. Всего было скормлено 3000 кг фарша, за счет которого получено 325 кг прироста массы сома. Содержание азота и фосфора в фарше может учитываться в тех же соотношениях, что и в форелевом корме (с учетом среднего содержания влаги в кормовой рыбе и суммарного сырого протеина). Влажность корма оценивается по суммарному содержанию связанной, иммобилизированной и структурно-свободной воды, которая для пресноводных рыб составляет в среднем 77 %, содержание сырого протеина – 18 % [16-19]. Схема расчетов будет примерно сходная (в пересчете на сухое вещество – 690 кг).

Количество фосфора, скормленного с фаршем $4,5\text{г} \times 690\text{кг} = 3105 \text{ г} = 3,1 \text{ кг}$

Количество азота, скормленного с фаршем $28,8 \text{ г} \times 690 \text{ кг} = 19872 \text{ г} = 19,9 \text{ кг}$

Количество азота, связанного приростом $27,5 \times 325 = 8938 \text{ г} = 8,9 \text{ кг}$

Количество фосфора, связанного приростом $4 \times 325 = 1300 \text{ г} = 1,3 \text{ кг}$

Удельная нагрузка по азоту – 11 кг

Удельная нагрузка по фосфору - 1,8 кг

Суммарная удельная нагрузка по фосфору с учетом усвоения водорослями составит:

$(1,8 \text{ кг} + 86 \text{ кг}) \times 0,36 = 31,6 \text{ кг}$. То же по азоту – 554,6 кг.

Таким образом, в целом за год в экосистему озера дополнительно поступило растворимых минеральных форм фосфора – 31,6 кг (0,008 мг/л) и азота – 554,6 кг (0,148 мг/л).

По итогам выращивания рыбы в садках в 2012 г. расчет представлен следующим образом:

-Прирост биомассы осетровых – 1064 кг;

-прирост биомассы форели – 49 кг;

-прирост биомассы сомов – 143 кг;

-общий расход комбикормов – 7240 кг;

-общий расход рыбного фарша – 3050 кг;

- белок комбикорма – 36 % или 57,6 г/кг;
- содержание фосфора в комбикорме – 9 г/кг;
- влажность рыбного фарша – 77 %;
- связанный в рыбе азот – 27,5 г/кг;
- связанный в рыбе фосфор – 4 г/кг;
- доля фосфора фекалий рыб, эффективно усваиваемых водорослями – 36 %.

1. Фосфорная нагрузка:

Количество фосфора, скормленного с комбикормом

$$9 \text{ г} \times 7240 = 65160 \text{ г} \text{ или } 65,2 \text{ кг.}$$

Количество фосфора, скормленного с фаршем

$$4,5 \times (3050 \times 0,23) = 3157 \text{ г} \text{ или } 3,2 \text{ кг}$$

Количество фосфора комбикорма, связанного приростом массы рыб:

$$4 \text{ г} \times 1113 = 4452 \text{ г} \text{ или } 4,4 \text{ кг}$$

Количество фосфора фарша, связанного приростом рыб:

$$4 \times 143 = 572 \text{ г} = 0,6 \text{ кг}$$

$$\text{Удельная нагрузка от фосфора: } (65,2 + 3,2) - (4,4 + 0,6) = 63,4 \text{ кг}$$

2. Азотная нагрузка:

Количество азота, скормленного с комбикормами:

$$57,6 \text{ г} \times 7240 = 417024 \text{ г} = 417 \text{ кг}$$

Количество азота, скормленного с фаршем:

$$28,8 \times (3050 \times 0,23) = 20203 \text{ г} = 20 \text{ кг}$$

Количество азота, комбикорма, связанного приростом рыб:

$$27,5 \text{ г} \times 1113 = 30607 \text{ г} = 30,6 \text{ кг}$$

Количество азота фарша, связанного приростом рыб:

$$27,5 \text{ г} \times 143 = 3933 \text{ г} = 3,9 \text{ кг}$$

$$\text{Удельная нагрузка от азота: } (417 + 20) - (30,6 + 3,9) = 402,5 \text{ кг}$$

Удельная нагрузка с учетом усвоения водорослями составит по фосфору:

$$63,4 \times 0,64 = 40,6 \text{ кг}$$

Таким образом, за 2012 год в водоем поступило аллохтонного органического вещества за счет рыбоводства в виде минеральных форм фосфора 40,6 кг, азота – 402,5 кг. В расчете на объем водных масс дополнительная нагрузка составила 0,011 мг/л и 0,107 мг/л соответственно. Предельно допустимая годовая нагрузка по ОБУВ – по аммонийному азоту – 0,4 мг/л, по минеральному фосфору – 0,2 мг/л. Реально за год уровень загрязнения не превысил 27 % допустимого предела по азоту и 6 % по фосфору. Тем не менее, за два года нагрузка возросла и уменьшила порог устойчивости экосистемы в целом.

Предельно допустимая нагрузка для естественных водоемов по ОБУВ [20] по аммонийному азоту - 0,4 мг/л, по минеральному фосфору – 0,2 мг/л. Суммарное воздействие биогенов на период выращивания рыбы (примерно 150 суток) не должно превышать допустимого уровня. Исходя из рекомендаций шведских исследователей [97], на 1 т выращиваемой в садках форели должно приходиться 30 га площади озера. Для закрытых водоемов с низкими характеристиками водообмена (отсутствие течения) ориентировочным показателем допустимой нагрузки может служить соотношение площади устанавливаемых садков к площади водного зеркала (1 : 1000).

Полная площадь садковой линии оз. Слidy составляет примерно 0,08 га, ее соотношение с площадью озера - 1 : 687, т.е. близко к рекомендованному выше. Поступление дополнительного количества биогенов в экосистему озера пока еще не превысило указанных выше нормативов (в сумме с внутренним поступлением и поверхностным стоком). Последнее указывает, что полученные расчетные цифры соответствуют естественному природному фону и свидетельствуют об имеющихся резервах самоочищающей способности водоема, однако последние ограничены и требуют лимитирования объема выращиваемой рыбы.

Заключение

1. Под установку садковых линий подходят искусственные и естественные водоемы, отвечающие определенным параметрам. При садковом

выращивании посадочного материала и товарной продукции лососевых лимитирующими факторами выступают не регулируемые (температура воды, степень насыщения кислородом, степень развития фитопланктона).

2. По расчетным данным за 2011 г. в экосистему озера поступило около 30 кг растворимого минерального фосфора и 555 кг азота. Степень дополнительного загрязнения за 2011 год еще не превысила природного фона и укладывается в возможности самоочищения. Годовая привносимая биогенная нагрузка на экосистему оз. Слидцы за 2012 г. составила: по азоту 0,107 мг/л, по фосфору – 0,011 мг/л и в целом укладывается в допустимые значения ПДК. Однако, с учетом суммирования внешней и внутренней нагрузки наблюдаются процессы эвтрофирования, которые могут приобрести ступенчатый характер.

3. В отсутствии достаточного количества растворимых форм минерального фосфора даже избыточное повышение содержания минерального азота не вызывает структурной перестройки трофических звеньев водоема.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические указания по определению пригодности водоемов с естественной температурой воды для выращивания карпа в садках: Сост. В.П. Михеев, И.В.Михеева – М.: ВНИИПРХ, 1987. – 22 с.

2. Нормы выращивания карпа и радужной форели в садках в водоемах с естественной температурой воды: Авторы В.П. Михеев [и др.]. – Москва: ВНИИПРХ, 1988. – 21 с.

3. Persons, J. Environmental impact by nutrient emission from salmonid culture / J. Persons // Ed. Balway. W.J. Eutrophication and lake rectoration. Water quality biological impacts. Thonon-les- Bains. 1988. – p. 215-225.

4. Смердс, К. Наилучший результат на кормах для сиговых фирмы «Рехурайсио» / К. Смердс, Т. Кантола // Вести рыбовода: изд. Рехурайсио, 2006. – №2. – С.7-9

5. Wallin, M. Nutrient loading models for estimating the environmental effects marine fish farm. / M.Wallin., L.Hakanson. – Marine aquaculture and enviroent. – Nord: 22. Norway.1991. – p. 39-56.

6. Горбачев, С.А. Показатели качества воды потребляемой сбросной воды на рыбоводных предприятиях Карелии и Архангельской области / С.А. Горбачев, С.А. Ермолаев// Тез. докл конф. «Экологические проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов Северо-Запада европейской части РСФСР. – Вологда: ВГПУ, 1990. – С. 54-55.
7. Влияние садкового форелевого хозяйства на разнотипные пресноводные экосистемы / А.А. Бабий [и др.]// Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. – Петрозаводск: ПетрГУ. – 1995. – С.179-190.
8. Sterligova, O.P. Effect of the farm on the lake-river ecosystem of the river Lizhma / O.P. Sterligova [и др.] . – Ecohydrology, hydrobiology. 2002. Vol. 1, №1-2. – P. 219-228.
9. Китаев, С.И. Охрана окружающей среды при выращивании форели в Карелии / С.И.Китаев, О.П. Стерлигова, Н.В. Ильмаст. – Рыбоводство и рыбное хозяйство: 2007, №2 . – С. 9-16.
10. Китаев, С.И.. Рыбоводно-экологическая оценка состояния Космозера при выращивании товарной форели / С.И.Китаев, О.П. Стерлигова, Н.В. Ильмаст // Садковое рыбоводство. Технологии выращивания. Кормление рыб и сохранение их здоровья. – Петрозаводск, ПетрГУ, 2008. – С.04-98.
11. Дзюбан, Н.А. Методы сбора и учета количественного материала в гидробиологических исследованиях / Н.А. Дзюбан. – М.: Наука, 1974.
12. Алекин, А.О. Химический анализ вод суши / А.О. Алекин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1954. – 200 с.
13. Унифицированные методы анализа воды СССР. – Л.: Химия, 1978. – 144 с.
14. Власов, Б.П. Озера Белоруссии / Б.П. Власов [и др.] . – Справочник. – Мн.: Минсктипроект, БГУ,2004.- 284с.
15. Кантола, Т. Расчеты удельной нагрузки от рыбоводного хозяйства / Т. Кантола. – Вести рыбовода: изд. Рехурайсио, 2006. – №3. – С.14-15.
16. Кормовая программа для форели: www.aller-aqua.com.

17. Кизеветтер, Н.В. Биохимия сырья водного происхождения / Н.В. Кизеветтер. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1973. – 424 с.
18. Баранов, В.В. Обработка и транспортировка рыбы и морепродуктов /В.В. Баранов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1975. – С.13-16.
19. Костылев, Э.Ф. Биохимия сырья водного происхождения / Э.Ф.Костылев, А.П. Рябошапка. – М.: Легкая и пищевая промышленность , 1982. – С.56-57.
20. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М., 1990.