

**ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, РАЗНООБРАЗИЯ  
И КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛЫХ  
ОЗЕР КАК ОТВЕТ НА ПРОВОДИМЫЕ БИОМАНИПУЛЯЦИИ**

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

*РУП «Институт рыбного хозяйства»,  
220 024, ул. Стебенева, 22, г. Минск, Республика Беларусь,  
[belniirh@tut.by](mailto:belniirh@tut.by)*

**DYNAMICS OF HYDROMECHANICAL INDICATORS, DIVERSITY AND  
QUANTITATIVE DEVELOPMENT OF PHYTOPLANKTON IN SMALL  
LAKES AS A FEEDBACK TO BIOLOGICAL MANIPULATIONS IN  
PROGRESS**

*RUE «Fish Industry Institute»,  
Stebeneva str., 22, Minsk, 220 024, Belarus, [belniirh@tut.by](mailto:belniirh@tut.by)*

**Реферат.** Рассмотрены некоторые особенности динамики видового состава и количественного развития фитопланктона двух малых озер при проведении на них биоманипуляций с использованием хищных рыб. Дана оценка качественной значимости динамики и высказываются возможные предположения по связи выявленных изменений с гидрохимическим режимом и развитием планктонных беспозвоночных.

**Ключевые слова:** озеро, среда, фитопланктон, прозрачность, биогенные элементы, количественные показатели, видовое разнообразие

**Abstract.** There were reviewed some peculiarities in dynamics of species composition and quantitative development of phytoplankton in two small lakes at biological manipulation with application of predatory fish in progress. There was estimated the qualitative importance of dynamics and there were set force the possible assumptions on the interconnection between the changes discovered with hydrochemical condition and development of backboneless plankton.

**Key words:** lake ambient, phytoplankton, transparency, biogenic elements, quantitative characteristics, species diversity.

## **Введение**

В результате процессов естественного старения, а также антропогенного эвтрофирования (вызванного увеличением биогенного стока с сельскохозяйственных угодий в водосборах) многие, особенно небольшие по площади, озера подвергаются усиленному эвтрофированию и теряют свое

первоначальное значение. При этом резко ухудшается качество водных масс, в массовом порядке развиваются планктонные водоросли (т.н. «цветение воды»), изменяется состав планктонных фитосообществ в пользу сине-зеленых, в придонных слоях отмечается устойчивый дефицит кислорода, вызываемый сокращением прозрачности воды. Как следствие, изменяются в худшую сторону условия нагула рыб и структура рыбного стада (в пользу мелких короткоциклических видов с преимущественно планктонным спектром питания). Ухудшение качества водных масс, так же как уменьшение и ухудшение качественного состава рыбных ресурсов, ведет к потере их природной и рекреационной значимости. Основа природной самоочистки - деструкция органики, которая определяется комплексом условий. По этой причине рост прозрачности воды и фотосинтетической активности фитопланктона служит положительным фактором в ускорении оборота органического вещества.

Проблема реабилитации (экологического оздоровления) озер является актуальной во всем мире. Вопрос о сохранении низкой биомассы водорослей и высокой прозрачности воды в условиях постоянства поверхностного стока и количества накопленных внутри экосистемы биогенов остается сложной задачей и до настоящего времени изучен в недостаточной степени. Тем не менее, некоторые условия и способы достижения результатов известны. В мировой практике в последние годы наиболее интенсивно прорабатываются методы, основанные на биоманипуляциях. Суть методов заключается во вселении в водоем определенных, специально подобранных видов рыб на основании детального изучения трофической структуры зоопланктона и рыбного сообщества, а также характеристики биоты в целом (теория «трофического каскада»).

### **Материал и методика исследований**

Исследования проводили в 2011-2013гг. на двух малых озерах с отличным уровнем трофности и степени зарастания - Черток (4,9га) и Ходосы (10,5 га), расположенных в Национальном парке «Нарочанский» при отработке методов биоманипулирования с использованием хищных рыб. В качестве

объектов зарыбления использовали разновозрастную молодь щуки (личинки, годовики, двухгодовики). В ходе работ изучали изменение гидрохимического режима, качественные и количественные показатели развития фитопланктона озер в период открытой воды (май-сентябрь).

Сбор гидрохимического материала и проб фитопланктона проводили в центральных точках акватории озер, на двух горизонтах – поверхностном и придонном один раз в месяц. Отбор гидрохимических проб и фитопланктона проводили батометром Рутнера (1 л), фиксацию осуществляли в соответствии со стандартной методикой исследований [1,2]. Для концентрации фитопланктона применяли осадочный метод [2]. Подсчет клеток проводился в камере Фукса-Розенталя, биомассу рассчитывали счетно-объемным методом А. И. Киселева [3]. При определении видового состава пользовались определителями [4-6].

### **Результаты исследований и обсуждение**

*Гидрохимический режим озер.* Исследования проводили по материалам сезонных наблюдений за гидрохимическим режимом озер и развитием планктонных сообществ в период открытой воды. Сравнение показателей минерального состава воды водоемов весеннего и летнего периодов наблюдений 2011-2013 гг показало, что по определенным данным они сохраняются в прежних значениях, по определенным показателям - изменились. Поскольку не отмечено каких-либо существенных факторов к ухудшению общего экологического состояния (уровенный режим, водосбор, источники загрязнения на водосборе), последнее можно связывать с разным темпом развития водной массы в период прогрева и летней стагнации водной массы озер и влиянием проводимых мероприятий. В частности, наблюдался некоторый рост жесткости, обусловленный ростом концентраций ионов основных щелочно-земельных металлов и общего железа, что могло быть связано с изменением объемов поступления поверхностных и грунтовых вод. Некоторое снижение концентрации биогенных элементов (соединения азота и фосфора) к середине лета, компенсировалось их ростом к концу августа, что, в

свою очередь, объясняется процессами отмирания органического вещества (прежде всего фитопланктона) и его последующей минерализацией. На это указывает рост прозрачности в оз. Ходосы, а также наличие нитритов в минимальном количестве. Последнее свидетельствует о полноте протекания процессов нитрификации при задействовании ресурсов растворенного кислорода. Применительно рассматриваемых процессов наибольший интерес представляет динамика таких показателей как прозрачность воды, содержание минерального азота и фосфора фосфатного.

Прозрачность воды в озерах имела сезонную динамику, связанную с развитием фитопланктона. Обычно минимальные значения наблюдались в мае, что обуславливалось весенним пиком развития диатомовых водорослей. В летние месяцы прозрачность воды могла снижаться под воздействием развития более теплолюбивых форм водорослей (зеленые и сине-зеленые), либо возрастать при снижении интенсивности развития фитопланктона. Со снижением интенсивности развития фитопланктона и преобладанием процессов деструкции прозрачность воды осенью опять начинала возрастать. Известно, что среди прочих гидрохимических показателей прозрачность воды может выступать интегрированным показателем качества [7]. Рост прозрачности следует воспринимать как свидетельство снижения доли сестона в воде и, соответственно, улучшение ее качества под воздействием проводимых биоманипуляций. Динамика изменения прозрачности воды модельных озер по годам наблюдения представлена в таблицах 1-2.

**Таблица 1 – Прозрачность воды в озерах по месяцам наблюдения, м**

Озеро	Год	Месяцы			
		май	июнь	август	сентябрь
Ходосы	2011	2,6	3,3	-	3,0
	2012	1,7	2,8	2,9	-
	2013	2,3	3,3	4,0	4,0
Черток	2011	2,7	2,1	-	2,5
	2012	1,0	3,2	2,4	
	2013	2,0	2,7	2,0	3,3

**Таблица 2 – Среднесезонные величины прозрачности воды в озерах, м.**

Озеро	2011г.	2012г.	2013г.
Ходосы	3,0	2,5	3,4
Черток	2,4	2,2	2,5

Минеральный азот в воде модельных водоемов был представлен основными неорганическими формами с численным преобладанием в оз. Ходосы нитратов, в оз. Черток – ионов аммония. Нитриты в обоих озерах наблюдались в минимальных или следовых количествах. Такое распределение может объясняться разным уровнем продуцирования органического вещества и его участием в последующих реакциях денитрификации. Сезонная динамика колебаний суммарных величин минерального азота в воде озер по годам наблюдения представлена в таблице 3.

**Таблица 3 – Показатели содержания минерального азота в воде озер, мг N<sub>мин.</sub>/л**

Годы	Периоды наблюдения			
	май	июнь	август	сентябрь
Оз. Ходосы				
2011	0,3025	0,3805	-	0,327
2012	0,8775	0,7885	0,9985	-
2013	1,348	1,209	0,9915	0,740
Оз. Черток				
2011	1,030	1,3155	-	1,635
2012	1,142	0,433	1,343	-
2013	2,222	1,745	1,333	0,8745

Соединения минерального фосфора, наряду с азотом минеральным, являются основными, лимитирующими развитие первичных продуцентов. Фосфор является одним из показателей степени трофии водоема, поэтому его межсезонная динамика может свидетельствовать о направленности процессов эвтрофирования/деэвтрофирования. Количественные величины и сезонная динамика минерального фосфора по интегрированным пробам для наблюдаемых озер представлена в таблице 4.

**Таблица 4- Показатели содержания минерального фосфора в воде озер, мг Р<sub>мин.</sub>/л**

Годы	Периоды наблюдений			
	май	июнь	август	сентябрь
Оз. Ходосы				
2011	0,014	0,004	-	0,009
2012	0,051	0,008	0,021	-
2013	0,008	0,010	0,010	0,006
Оз. Черток				
2011	0,001	0,0	-	0,030
2012	0,015	0,010	0,035	-
2013	0,008	0,012	0,011	0,014

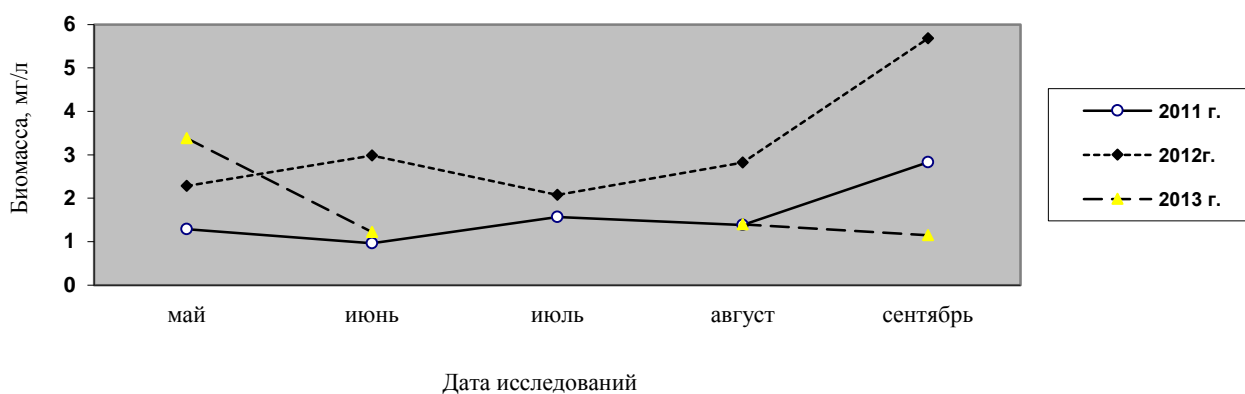
Анализ динамики гидрохимических данных показал некоторое снижение качества вод по рассматриваемым показателям в 2012 г. по сравнению с 2011 г., и последующее улучшение в 2013г. В частности, снижение прозрачности воды в обоих озерах в 2012 г., по сравнению с ранее установленными величинами, трудно объяснить воздействием биоманипуляций, поскольку их интенсивность (плотность посадки молоди щук и возможная степень ее воздействия на планктонное сообщество) были различны. Очевидно, на данный показатель могли сказаться погодно-климатические условия текущего года, вызванные ранней весной и ускоренным прогреванием воды к маю, что на фоне прочих факторов привело к «летним» показателям развития водорослевого сообщества. В 2013 г. темп наступления температур воды носил несколько иной характер, и быстрый прогрев отмечен только со второй декады мая. По обоим озерам также отмечено возрастание концентраций минерального азота (суммарного значения ионов аммония, нитритов и нитратов) в ряду 2011-2013 гг. с максимальными значениями для мая – июня и последующим некоторым снижением к сентябрю (таблица 3). Примерно сходная картина отмечена и для фосфора фосфатного, с той лишь разницей, что величины 2013 г. были ниже, чем в 2012 г. (таблица 4). Объяснением этим фактам за трехлетний период наблюдений может быть разный уровень ассимиляции биогенов первичными

продуцентами, что косвенно подтверждает возможность воздействия на химический состав вод через биоманипуляции гидробионтами.

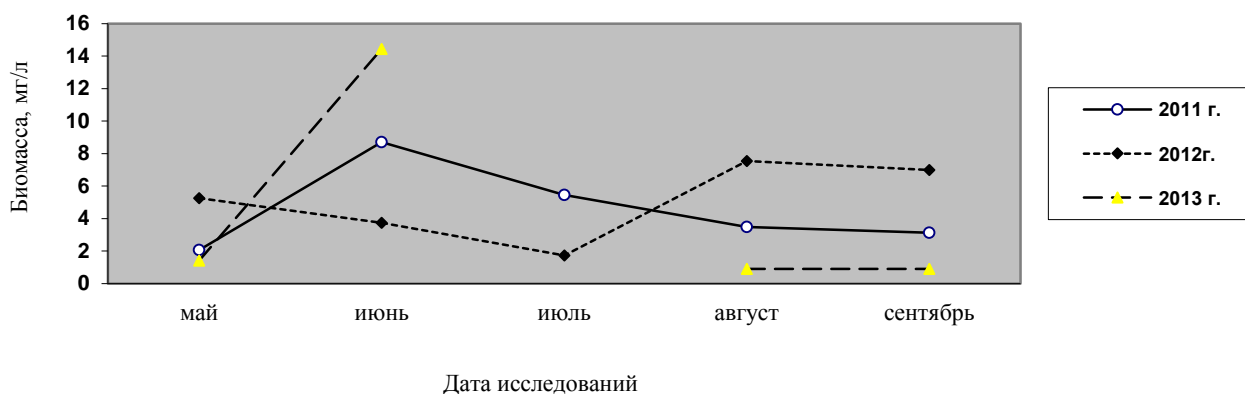
Поскольку концентрация биогенных элементов в воде является определяющим условием для развития водорослей, представляет интерес соотношение основных компонентов питания (минерального азота и фосфора) по водоемам и датам наблюдения [8,9]. На основании анализа таблиц 3 и 4 установлено, что соотношение P : N для слабо зарастающего оз. Ходосы в ряду май → сентябрь меняется от 1 : 22 до 1 :36 (2011г.), от 1 :17 до 1 :48 (2012г.) и от 1 : 69 до 1 :123 (2013г.) В ряду 2011 г. → 2013г. соотношение меняется от 1 : 17 до 1 :169 (май), от 1 : 95 до 1 :121 (июнь) до 1 :36 до 1:123 (сентябрь). Для оз. Черток межсезонные соотношения биогенов меняются от 1 : 76 – 1 : 278 в мае до 1 : 55 – 1 : 62 в сентябре; межгодовые - от 1 : 1030 - 1 : 55 в 2011г. до 1 : 78 – 1 : 62 в 2013 г. Сравнивая данные показатели по модельным водоемам, можно отметить, что для слабо зарастающего оз. Ходосы изменения в соотношении N : P были меньше, нежели для макрофитного оз. Черток. Вода последнего характеризовалась крайне низкими фоновыми показателями содержания минерального фосфора, поэтому любое его увеличение приводило к более резкому изменению в соотношении биогенов, нежели в оз. Ходосы.

**Фитопланктон.** В летний период в анализируемых озерах наблюдались общие закономерности развития микроводорослей, свойственных эвтрофным водоемам Беларуси. В целом в структуре сообщества оз. Ходосы в 2012г был выявлен 21 таксон водорослей, в том числе зеленые – 10, золотистые – 4, сине-зеленые и диатомовые – по 3, пиррофитовые - 1. По оз. Черток было выявлено 25 таксонов, в том числе зеленые - 8, диатомовые – 6, сине-зеленые - 5, золотистые - 3, пиррофитовые – и эвгленовые – по 1. В 2013 г. в составе водорослей оз. Ходосы выявлено уже 36 таксонов, относимых к 6 отделам, в оз. Черток – 30 таксонов также 6 отделов. Наиболее многочисленными группами водорослей: в оз. Ходосы – зеленые (13) и сине-зеленые (8); в оз. Черток – сине-зеленые (9) и зеленые - 6. Биомасса фитопланктона по датам наблюдения изменялась в пределах от 5,34 мг/л до 1,22 мг/л в оз. Ходосы и от 1,41 до 14,43 мг/л - в оз.

Черток. В обоих озерах на протяжении первых двух лет наблюдений отмечена сходная картина динамики биомасс: от средних показателей весны – начала лета к летнему минимуму, который в оз. Ходосы пришелся на третью декаду июля, в оз. Черток – на конец июня – первую декаду июля, к максимуму развития в конце августа – сентябре (рисунки 1- 2). В 2013 г. динамика биомасс водорослей приобрела иную направленность, с минимальными значениями в конце сезона наблюдений. В целом для оз. Ходосы отмечена тенденция на понижение среднесезонной биомассы водорослей, для оз. Черток – на повышение.



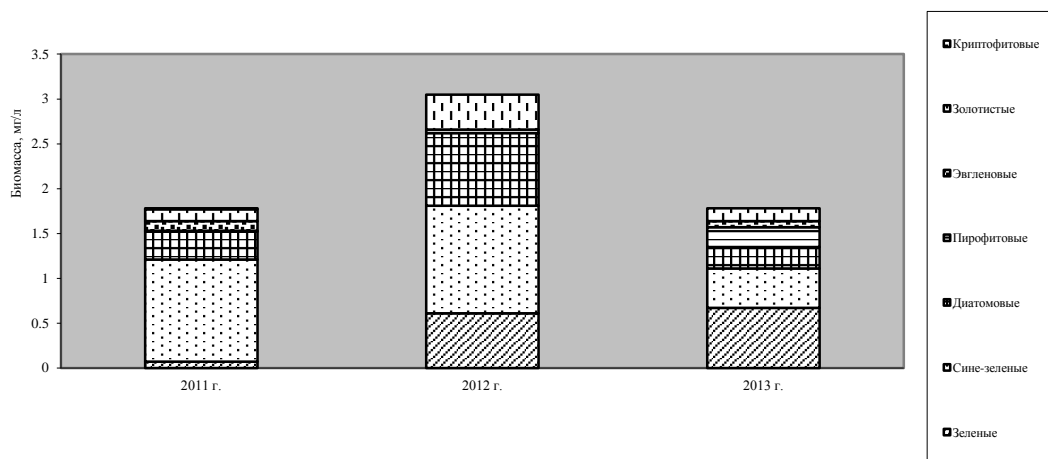
**Рисунок 1** – Динамика биомасс фитопланктона оз. Ходосы



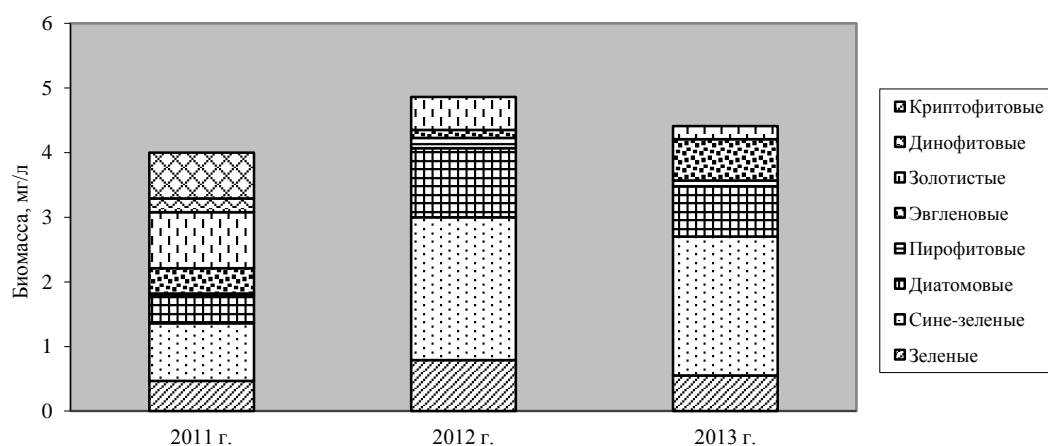
**Рисунок 2** – Динамика биомасс фитопланктона оз. Черток

В фитопланктоне обоих озер на протяжении вегетационного сезона отмечается смена доминант, которая носит более упорядоченный характер для оз. Ходосы (рисунки 3 - 4).





**Рисунок 3** – Динамика биомасс структурных компонентов фитопланктона оз.Ходосы, 2011- 2013гг.



**Рисунок 4** – Динамика биомасс структурных компонентов фитопланктона оз.Черток, 2011-2013гг.

Так, в весенне-летний период в последнем отмечено четкое преобладание по биомассе золотистых, значение которых к середине лета сходит к минимальному. С июля более массово встречаются зеленые и сине-зеленые, в сумме определяя количественное развитие. В структуре сообщества оз. Черток в этот период отмечается поочередное доминирование диатомовых и золотистых, на смену которым к началу июля приходят зеленые. Со второй половины лета в оз. Черток отмечено закономерное нарастание биомассы сине-зеленых (до 84,2 % к концу сентября). В оз. Ходосы сине-зеленые доминировали в биомассе только до начала сентября (47,9 %), тогда как в

следующей десятидневке им на смену пришли более холодолюбивые диатомовые (56,9 %).

По сравнению с данными за аналогичный период 2011 г., в последующие два года отмечено некоторое изменение видового разнообразия фитопланктона по обоим озерам (2011 г. было в оз. Ходосы - 30, оз. Черток – 38, в 2012 г. 21 и 25, в 2013г. – 36 и 30 таксонов соответственно) на фоне смены доминант. Преобладавшие ранее в оз. Ходосы диатомовые и сине-зеленые отошли на второй-третий план, уступив первенство зеленым водорослям.

В оз. Черток значение зеленых водорослей практически не изменилось, но практически вдвое выросла доля сине-зеленых. Среди зеленых по оз. Ходосы на долю протококковых форм пришлось 70 %, по оз. Черток – 75 % от отмеченных таксонов. Несколько сократилось число таксонов эвгленовых водорослей, которых можно рассматривать как индикатор биогенного загрязнения. Анализ таблиц 5 и 6 показал наличие некоторых сходных тенденций в структуре сообществ микроводорослей.

В частности, в оз. Ходосы в 2012 г. на фоне общего роста среднесезонной биомассы фитопланктона (примерно на 54 %) возросли доли биомасс зеленых и золотистых водорослей, на фоне снижения аналогичных показателей для сине-зеленых и диатомовых. Эвгленовые, которые могут рассматриваться как один из признаков эвтрофирования, практически утратили свое значение в 2012 г. В 2013г. отмечено снижение количественного развития фитопланктона, в основном за счет уменьшения доли сине-зеленых и диатомовых водорослей. В оз.Ходосы от 2011-12 гг. к 2013 г. отмечено изменение размерно-весовых характеристик сине-зеленых водорослей в направлении уменьшения их размеров. Данный фактор обеспечен как измельчением форм, отмеченных ранее (2011-2012гг.), так и за счет выявления новых, относительно мелких (преимущественно р. *Microcystis*).

При сходных средних величинах численности сине-зеленых водорослей в 2013 г. по сравнению с предыдущими годами наблюдений, общая биомасса по данной группе фитопланктона была заметно более низкой. Так в 2011 г. при

численности водорослей 0,18 млн.экз./л, их биомасса составила 0,7 мг/л, в 2012 г., соответственно, 0,26 млн.экз./л и 0,97 мг/л, а в 2013 г при численности 0,22 млн.экз./л биомасса была уже 0,45 мг/л, или в 1,6 и 2,2 раза меньше прежних значений. В свою очередь, в оз. Черток отмечено снижение среднесезонной величины биомассы водорослей в 2012 г. (на 45 %), на фоне отмечаемых перестроек в ее структуре и практический возврат к прежним величинам в 2013 г. Так, доля зеленых и диатомовых водорослей изменились незначительно, тогда как эвгленовых - возросла. Существенно снизились лишь доли пиррофитовых и золотистых (таблица 6).

Претерпела некоторые изменения и встречаемость отдельных таксонов и видов. Так, в обоих озерах увеличилось разнообразие зеленых водорослей, но существенно снизилась встречаемость эвгленовых (таблицы 5-6). В оз. Ходосы возросла встречаемость золотистых, а в оз. Черток – наоборот, в 2012 г. не было отмечено в пробах динофитовых и криптофитовых. Расхождение в трендах развития фитопланктона двух озер при осуществлении сходных мероприятий может объясняться разной степенью развития фитобентоса (конкурирующего в оз. Черток с микрофитами за биогены), выступающего одним из аккумуляторов и продуцентов органического вещества. Такие структурные перестройки могут объясняться также общими механизмами функционирования сообществ, происходящими в экосистемах процессами под влиянием воздействия по принципу «top-down».

Известно, что для преимущественного развития зеленых водорослей требуется избыток азота при минимуме фосфора. Наоборот, сине-зеленые способны обеспечивать свои потребности в азоте за счет фиксации последнего из воздуха, тогда как малейшие тенденции в увеличении содержания в воде фосфора приводят к их преобладающему развитию. Для оценки тенденции изменения биологического разнообразия фитопланктона озер в межгодовом аспекте использовали индексы общности (индекс Жаккара и Сьеренсена-Чекановского) [10], основанные на качественных данных (присутствие или отсутствие видов в списках) за два первых года наблюдения (2011-2012 гг.).

**Таблица 5 - Сравнительные показатели развития фитопланктона озер в летний период**

Отделы водорослей	Оз. Ходосы									Оз. Черток								
	2011г.			2012г.			2013г.			2011г.			2012г.			2013г.		
	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Биомасса, мг/л	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Биомасса, мг/л	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Биомасса, мг/л	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Био-мас-са, мг/л	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Биомасса, мг/л	Кол-во таксонов	Численность млн. экз./л	Биомасса, мг/л
зеленые	9	0,29	0,15	10	0,26	0,28	18	1,34	0,67	8	0,27	0,65	8	0,39	0,27	10	1,21	0,55
сине-зеленые	5	0,18	0,70	3	0,26	0,97	11	0,22	0,45	10	0,18	0,63	5	0,25	0,87	8	1,22	2,15
Диатомовые	9	0,34	0,34	3	0,28	0,42	5	0,19	0,25	5	0,29	0,61	6	0,23	0,27	5	1,29	0,78
Пирофитовые	2	0,09	0,01	1	0,01	0,03	1	0,15	0,22	3	0,19	1,08	2	0,06	0,11	2	0,09	0,09
Золотистые	3	0,15	0,13	4	0,48	0,43	1	0,15	0,14	4	1,04	1,19	3	1,00	0,90	3	0,22	0,20
Эвгленовые	2	0,04	0,04	-	-	-	2	0,04	0,07	6	0,09	0,38	1	0,10	0,13	4	0,12	0,64
всего	30	1,09	1,38	21	1,30	2,13	38	1,94	1,8	38	2,06	4,61	25	2,03	2,54	32	4,15	4,41

**Таблица 6 – Относительные показатели биомассы фитопланктона озер в летний период, %**

Отделы водорослей	Оз. Ходосы			Оз. Черток		
	2011г.	2012г.	2013г.	2011г.	2012г.	2013г.
зеленые	10,8	13,1	37,2	14,1	10,6	12,5
сине-зеленые	50,7	45,5	25,0	13,7	34,3	48,8
диатомовые	24,6	13,1	13,9	13,2	10,6	17,7
пирофитовые	0,7	1,4	12,2	23,4	4,3	2,0
золотистые	9,4	20,1	7,8	25,8	35,4	4,5
эвгленовые	3,2	0	3,9	8,2	5,1	14,5
всего	100	100	100	100	100	100

Коэффициенты равны 1 в случае полного совпадения видов сообществ и равны 0, если выборки совершенно различны и не включают общих видов. По расчетным индексам (таблица 7) наблюдается снижение разнообразия сине-зеленых в оз. Ходосы и Черток, и эвгленовых - в оз. Черток, при росте разнообразия диатомей в оз. Черток и золотистых – в обоих озерах.

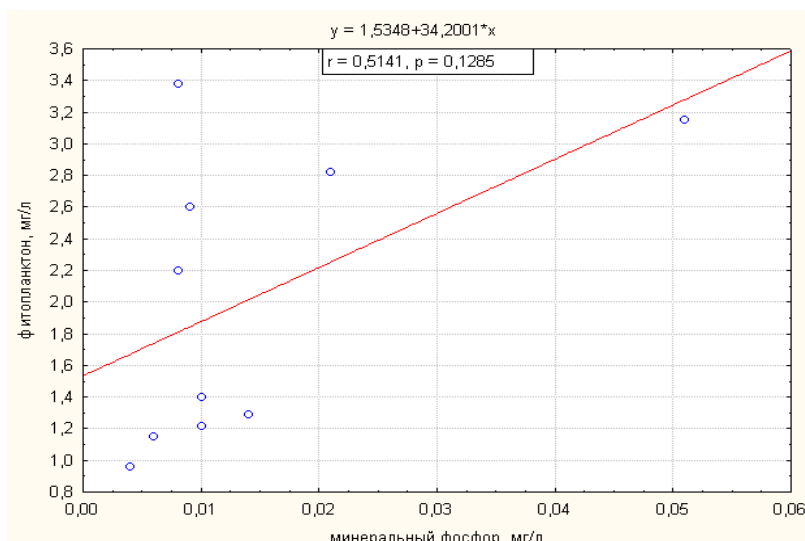
**Таблица 7– Индексы общности фитопланктона озер Ходосы и Черток**

Отделы водорослей	оз.Ходосы					оз.Черток				
	а	в	с	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>	а	в	с	К <sub>1</sub>	К <sub>2</sub>
Зеленые	3	11	7	1	1	4	16	6	0,43	0,6
Сине-зеленые	4	5	2	0,28	0,44	7	5	4	0,5	0,67
Пирофитовые	1	1	1	1	1	3	7	5	1	1
Диатомовые	5	3	4	1	1	2	5	4	1,3	1,14
Эвгленовые	2	0	0	0	0	4	1	1	0,25	0,4
Золотистые	0	2	4	2	4	1	3	3	3	1,5
Криптофитовые	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Динофитовые						1	0	0	0	0

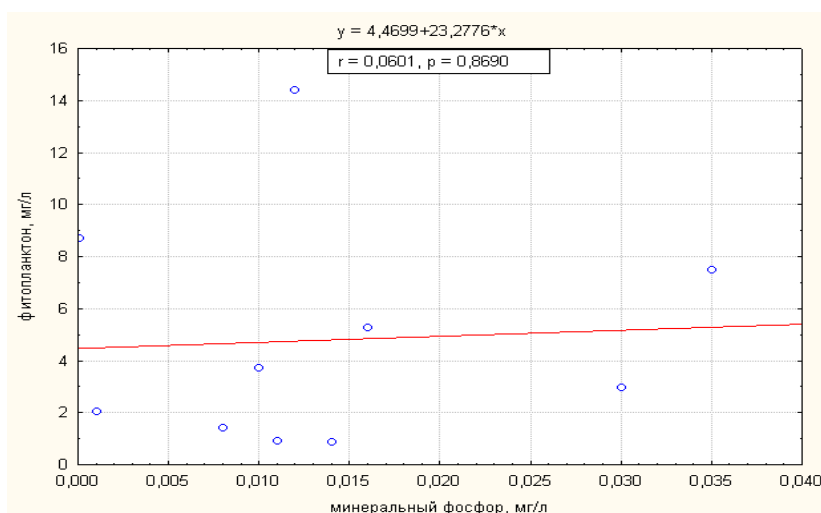
**Примечание:**

а- количество видов в первом сообществе, но отсутствующие во втором;  
 в- количество видов во втором сообществе, но отсутствующие в первом;  
 с- количество видов общих для обоих сообществ; К<sub>1</sub>и К<sub>2</sub> – индексы общности видов

Поскольку в основе процессов эвтрофирования лежит увеличение концентрации биогенов (соединений азота и фосфора), приостановка их роста или снижение содержания могут способствовать процессам самоочищения (вплоть до поворота процесса вспять) [11]. Известно, что сине-зеленые водоросли начинают доминировать при соотношении азота и фосфора менее 29:1 [12], т.е. когда фосфора в воде относительно много, а азота - мало. Сине-зеленые, способные к азотфиксации из воздуха, получают преимущества при росте именно фосфора. Карповые рыбы (особенно мелкие) выделяют относительно много фосфора и меньше азота, тем самым снимают лимит по фосфору и увеличивают по азоту [13]. В частности, плотва выделяет азот и фосфор в пропорции  $N : P = 12: 1$  [14]. Зоопланктон также экскретирует фосфор и азот в доступных для фитопланктона формах. Крупные дафнии выделяют соответственно меньше фосфора и больше азота [13]. Таким образом, косвенное влияние рыб на фитопланктон проявляется не только в изменении соотношения азота и фосфора в выделяемых ими метаболитах, но и через сдвиг этого соотношения под воздействием рыб на зоопланктон. При увеличении биомассы рыб снижается соотношение  $N : P$  в sestone и воде как за счет метаболитов рыб, так и за счет выедания рыбой зоопланктона. Поскольку фосфор выступает лимитирующим фактором для развития микроводорослей. представляет интерес анализ зависимостей этих двух переменных для анализируемых водоемов. По результатам исследований 2011-2013гг. установлено, соотношение фитопланктон-фосфор хорошо описывается прямолинейной функцией типа  $Y = a + bX$ , а напряженность связи для оз. Ходосы существенно выше, чем для оз. Черток (рисунки 5-6). Возможно, это связано с существенно большей зарастаемостью последнего макрофитами, в результате чего высшая растительность выполняет буферную роль, перехватывая существенную часть биогенного стока.



**Рисунок 5** – Зависимость фитопланктон - фосфор фосфатный для оз. Ходосы



**Рисунок 6** – Зависимость фитопланктон - фосфор фосфатный для оз. Черток

### Заключение

1. Сравнительные показатели качества воды экспериментальных озер подтверждают трофический тип (статус) водоемов, а их различия в 2011 и последующие годы могут объясняться как сезонными факторами, так и следствием проводимых манипуляций. Динамика основных гидрохимических показателей водоемов (прозрачность воды, содержание основных биогенов) за трехлетний период наблюдений укладывается в общие представления о воздействии биоманипуляций по принципу «top-down».

2. При проведении биоманипуляций по типу «top-down» в сообществах фитопланктона озер отмечены структурные перестройки, заключающиеся в

некотором изменении видового разнообразия, в т.ч. наличие протококковых форм, смене относительного значения отдельных отделов и таксонов водорослей, снижении количественных показателей (абсолютных и относительных) значения таксонов- индикаторов загрязненных вод.

3. По расчетным индексам наблюдается снижение разнообразия сине-зеленых в оз. Ходосы и Черток, и эвгленовых в оз. Черток, при росте разнообразия диатомей в оз. Черток и золотистых – в обоих озерах. Снижение биоразнообразия одних видов фитопланктона способствует увеличению разнообразия других, ранее не доминировавших.

4. Отмечена тенденция на снижение биомассы сине-зеленых водорослей в оз. Ходосы при общем уменьшении размеров встречающихся форм.

5. Манипуляции типа «top-down» оказались более эффективны для эвтрофного димиктического оз. Ходосы, чем для эвтрофно-дистрофного макрофитного и полимиктического оз. Черток.

6. Манипуляции типа «top –down» проявляют больший эффект в водоемах с относительно низкими показателями трофности. При возрастании уровня трофности и концентрации биогенных веществ, участвующих в круговороте вещества и энергии, эффективность биоманипуляций может снижаться, а их выраженность больше проявляться по отношению к количественному развитию планктонных сообществ.

7. По результатам работ находит подтверждение мнение, что для макрофитных озер больший эффект может быть получен в обход трофического каскада за счет прямого изъятия карповых рыб, в первую очередь растительноядных (красноперка) и бентосоядных (лещ, карась, густера).

#### **Список использованных источников**

1. Унифицированные методы анализа воды СССР. – Л., 1978. – 144 с.
2. Усачев, П.И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона/ П.И. Усачев// Сб. тр. Всесоюзного гидробиол. о-ва, 1961. – Вып. II. – С.8-15.



3. Киселев, И.А. Планктон морей и континентальных водоемов/ И.А. Киселев // В 2 т. – Л: Наука, 1969. – Т.1. – С.140 - 400.
4. Эргашев, А.Э. Определитель протококковых водорослей Средней Азии/ А.Э. Эргашев.– Ташкент: Изд-во «Фан», 1979. – Кн.1. – 343 с.
5. Эргашев, А.Э. Определитель протококковых водорослей Средней Азии/ А.Э. Эргашев. – Ташкент: Изд-во «Фан». – 1979. – Кн. 2. – 383 с.
6. Голлербах, М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР/ М.М. Голлербах // В. 1-14. – Л: Изд-во «Наука», 1951-1980.
7. Романов, В.П. Эмпирическая модель прогноза трофического состояния озер в условиях изменения их морфометрических параметров / В.П. Романов, А.В. Ермоленко, Л.М. Кирильчик// В сб. Прикладная лимнология: Сборник научн. статей. – Мн., Изд-во БГУ, 2000. – В.2. – С.88-92.
8. Шкундина, Ф.Б. Основные тенденции антропогенного эвтрофирования озер Республики Башкортостан/ Ф.Б.Шкундина, Г.А. Гуламанова. – Вестник ОНУ, 2008. – Т.13, В. 4. – С.106-111.
9. Гладышев, М.И. Биоманипуляция "TOP-DOWN» в обход трофического каскада на небольшом сибирском водоеме / М.И. Гладышев [и др.]// Научные основы сохранения водосборных бассейнов: междисциплинарные подходы к управлению природными ресурсами. Тезисы международной конференции. – Т. 1 Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 2004. – 139с.
10. Лебедева, Н.В. Биологическое разнообразие/ Н.В.Лебедева, Н.Н.Дроздов, Д.А. Кривоуцкой// Учебное пособие для студентов высш. учебн. заведений – М.. Изд-во «ВЛАДОС», 2004. – 432с.
11. Остапеня, А.П. Нарочанские озера: эволюция трофического статуса /А.П. Остапеня// Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество вод: Тез. докл. междунар. науч. конф. по озерным экосистемам 20-25 сентября 1999, Минск-Нарочь. Мн., Изд-во БГУ, 1999. – С.133.

12. Smith, V.H. low nitrogen to phosphorous ration favour dominance by blue-green algae in lake phytoplankton/ V.H. Smith. – Science, 1983. – V.221, №4611. – P. 669-671.

13. Vanni, M.J. Nutrient recycling and herbivory as mechanism in the “top-down” effect of fish on algae in lakes / M.J. Vanni, C.D.Layne. – Ecology, 1997. – V.78, №1. – P.21-40.

14. Attayde, J.L. Effects of nutrient recycling by zooplankton and fish on phytoplankton communities/ J.L Attayde, L.A.Hansson// Ecologia, 1999, V.121. – P.47-54.