

На правах рукописи

ШИРОКОВА Людмила Сергеевна

**ПРОСТРАНСТВЕННО - ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА
БАКТЕРИОПЛАНКТОНА И ЕГО РОЛЬ В САМООЧИЩЕНИИ
МАЛЫХ ОЗЕР АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

03.00.16 – экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Сыктывкар – 2007

Работа выполнена в лаборатории водных экосистем
Института экологических проблем Севера УрО РАН

Научный руководитель: доктор медицинских наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Добродеева Лилия Константиновна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
Новоселов Александр Павлович

кандидат биологических наук
Лешко Юлия Васильевна

Ведущее учреждение: Институт озераведения РАН

Защита состоится 28 февраля 2007 г. в 16 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д.004.007.01 в Институте биологии Коми научного центра УрО РАН по адресу: 167982, ГСП-2, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28.

Факс: (8212) 24-01-63; e-mail: dissovet@ib.komisc.ru.

Адрес сайта Института: [http:// www.ib.komisc.ru](http://www.ib.komisc.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Коми научного центра УрО РАН по адресу: 167982, г. Сыктывкар, Республика Коми, ул. Коммунистическая, 24.

Автореферат разослан 24 января 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор биологических наук



А.Г. Кудяшева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема качества воды на сегодняшний день приобретает все большее значение в связи с возрастающим антропогенным воздействием на экосистемы водоемов. Для решения фундаментальных проблем экологии и прикладных вопросов рационального использования водных ресурсов необходимо изучение процессов самоочищения (Скурлатов, 1988; Алимов, 2000; Ostroumov et al., 2003 и др.). В озерах мира сосредоточено более 176.4 тыс. км³ воды, в том числе 91.0 тыс. км³ пресной (Мировой водный баланс..., 1974). В России учтено 2.7 млн. озер, которые содержат 26.5 тыс. км³ воды. Подавляющее число озер в России (48% озерного фонда) относится к малым с площадью менее 1 км² (Черняев, 1998). В Архангельской области 224 252 озера, среди которых преобладают малые (Козьмин, Шатова, 1997).

Воды малых озер наиболее четко отражают зональную, региональную и локальную специфику условий их формирования и те глобальные антропогенные процессы, которые происходят в последнее время в окружающей среде. Антропогенный фактор в глобальном масштабе, накладываясь на природные процессы, оказывает существенное влияние на них, стимулируя процессы эвтрофирования, закисления, а также обогащения вод токсичными микроэлементами даже в тех случаях, когда водные системы не подвергаются воздействию прямых стоков (Моисеенко, Гашкина, 2005).

В процессах формирования и регуляции качества воды, самоочищения водных экосистем участвуют практически все живые организмы. Микробиоценоз водоемов служит основным звеном процессов самоочищения, подвергая деструкции не только автохтонные органические вещества, но и антропогенные соединения (Романенко, 1989). Учитывая слабую изученность экосистем малых озер области, несомненно, актуальным является изучение микробиологического аспекта процессов самоочищения, а также основных закономерностей развития и функционирования лимнических систем региона.

Целью настоящего исследования является изучение пространственно-временной структуры бактериопланктона и оценка его роли в процессах самоочищения Ротковецких озер (Святое, Узловское, Назаровское и Белое) в условиях различного антропогенного воздействия на их экосистемы.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. изучить гидролого-гидрохимическое состояние Ротковецких озер;
2. исследовать структуру и сезонную динамику фито- и зоопланктонных сообществ;
3. выявить особенности суточной, сезонной, межгодовой динамики бактериопланктона, как основного фактора самоочищения;
4. изучить продукционно-деструкционные процессы Ротковецких озер, находящихся в условиях различного антропогенного воздействия.

Научная новизна. На основе комплексных исследований впервые дана гидролого-гидрохимическая, гидробиологическая и функциональная характеристика экосистем малых озер Архангельской области в районе геобиосферного стационара РАН «Ротковец». Впервые получены сведения о таксономической принадлежности и дана оценка разнообразия фито- и зоопланктонных сообществ озер Святое, Узловское, Назаровское и Белое, изучена их сезонная динамика, которая свидетельствует о естественном развитии и функционировании гидробиоценоза. Изучено влияние биологических ритмов на функционирование бактериопланктона (на примере суточной, сезонной и межгодовой динамики микробоценоза) малых озер среднетаежной подзоны. Выявлено активное участие бактериопланктона в процессах самоочищения. Получены данные об особенностях распространения различных эколого-трофических групп микробоценоза по акватории озера Святое в зависимости от степени воздействия биотических и абиотических факторов. Охарактеризована суточная динамика интенсивности фотосинтеза и деструкционных процессов в изученных озерах. Определена функциональная активность бактериопланктона, что позволило оценить роль бактерий в продукционно-деструкционных процессах озер Святое, Узловское и Белое. Установлено, что лимнические системы, подвергающиеся антропогенной нагрузке (оз. Святое, Узловское), характеризуются более высокой скоростью образования первичной продукции; деструкционные процессы протекают интенсивнее продукционных. Проведена оценка состояния процессов самоочищения в лимнических системах и впервые получены представления о продуктивности малых озер региона. По уровню трофности воды Ротковецких озер охарактеризованы как стабильно мезотрофные.

Практическая значимость. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в качестве базовой информации для мониторинговых исследований состояния изученных лимнических систем. Проведенная оценка экологической структуры микробоценоза исследованного района может служить критерием определения качества вод. Выявленные закономерности процессов самоочищения, скорости образования первичной продукции и деструкции органического вещества позволят прогнозировать изменение качества воды под влиянием хозяйственной деятельности человека, что весьма важно при планировании комплексного использования водных ресурсов на перспективу. Материалы диссертации могут быть применены при написании дипломных работ, для изучения разделов биологии и экологии средней школы и ВУЗов, а также для сравнительных исследований других регионов Севера.

Достоверность результатов. Достоверность научных положений и выводов обеспечены использованием обширных фактических материалов пятилетних экспедиционных работ автора и сотрудников лаборатории водных экосистем Института, объемом обработанного материала (810 проб), применением современных методов исследования и анализа.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Гидролого-гидрохимические характеристики и структура планктонных сообществ Ротковецких озер свидетельствуют о естественном развитии и функционировании биотического и абиотического компонентов.
2. Характер динамики бактериопланктона Ротковецких озер, его функциональные характеристики указывают на активное участие бактериопланктона в процессах самоочищения водоемов; антропогенное воздействие на озеро Узловское и северную часть озера Святое не вызывает заметного снижения гетеротрофной активности бактериопланктона.

Личный вклад автора. Автором сформулированы цель и задачи, подготовлена программа исследований. Отбор проб воды и гидролого-гидрохимические, микробиологические и гидробиологические анализы проведены лично автором совместно с сотрудниками лаборатории водных экосистем ИЭПС УрО РАН. Диссертантом проведен весь комплекс работ по обработке материалов, выполнена математическая обработка, анализ и обобщение полученных результатов.

Апробация работы. Результаты исследований были доложены и обсуждены на научных конференциях: Международной «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения» (Архангельск, 2002), Международной молодежной «Экология – 2003» (Архангельск, 2003), Международной «Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря» (Петрозаводск, 2004); Международной «Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий» (Архангельск, 2005), II Всероссийской «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2006), Международной «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 2006), а также на заседаниях лаборатории водных экосистем и Ученого Совета Института экологических проблем Севера УрО РАН.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в т.ч. две в журналах, входящих в перечень ВАК.

Структура диссертации. Работа изложена на 188 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков и 18 таблиц; состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и приложений. Список литературы включает 217 источников, в том числе 27 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Процессы самоочищения в водных экосистемах и роль бактериопланктона, как основного фактора деструкции органического вещества

Обобщены данные литературы о процессах самоочищения в водных экосистемах; проанализирована роль бактериопланктона в процессах

самоочищения озер, роль биотического и абиотического компонентов в функционировании лимнических систем. Определен уровень влияния степени и характера хозяйственной освоенности водосборных площадей озер на функционирование экосистемы. Показано, что для выяснения роли популяций отдельных видов или сообществ водных организмов в процессах самоочищения необходимо изучение их функциональных характеристик.

Глава 2. Материал и методика исследований

В главе рассмотрена степень изученности озер Архангельской области, представлена физико-географическая характеристика водосборного бассейна реки Онега, к которому относится район исследований, а также методы, использованные для изучения количественных и функциональных характеристик экосистем Ротковецких озер.

Ротковецкая группа озер находится в юго-западной части Архангельской области (широта $60^{\circ}50' - 60^{\circ}53'N$, долгота $39^{\circ}30' - 39^{\circ}35'E$).

Объектом изучения являлась вода озер Святое, Узловское, Назаровское и Белое в районе геобиосферного стационара РАН «Ротковец». Проведен комплексный анализ 810 проб озерной воды в период с 2001 по 2006 гг. Схема расположения станций представлена на рис. 1.

Выбор станций отбора проб обусловлен гидрологическими особенностями водоемов и антропогенным влиянием на водосбор; отбор проб воды проводили в зависимости от сезона. При изучении ярусной структуры озер учитывали их гидрологические особенности. На участках с полной гомотермией отбор проб воды для микробиологического и гидрохимического анализов производили только с поверхностного (с глубины 0.5 м) горизонта, на стратифицированных биотопах – эпилимниона и гиполимниона. Пробы воды отбирали в стерильные склянки (Руководство..., 1992) батометром Францева с соблюдением всех асептических правил отбора, время хранения проб не превышало 2 часов в переносном холодильнике.

Морфометрические характеристики озер получены по батиметрической съемке, проведенной в 2005-2006 гг. с помощью эхолота. Гидробиологические и микробиологические анализы проводили общепринятыми методами исследований (Родина, 1965; Унифицированные..., 1985, 1990; Кузнецов, Дубинина, 1989; Руководство..., 1992; Сборник руководящих документов...1999, Методические..., 2000, 2001, СанПиН..., 2000).

Для проведения химических анализов (определения концентрации биогенных элементов, растворенного кислорода, БПК₅) использованы стандартные методики (Руководство..., 1977; Методы..., 1988; Методика..., 1997а; Методика..., 1997б). Минерализацию определяли с помощью переносного кондуктометра, рН – переносного рН-метра.

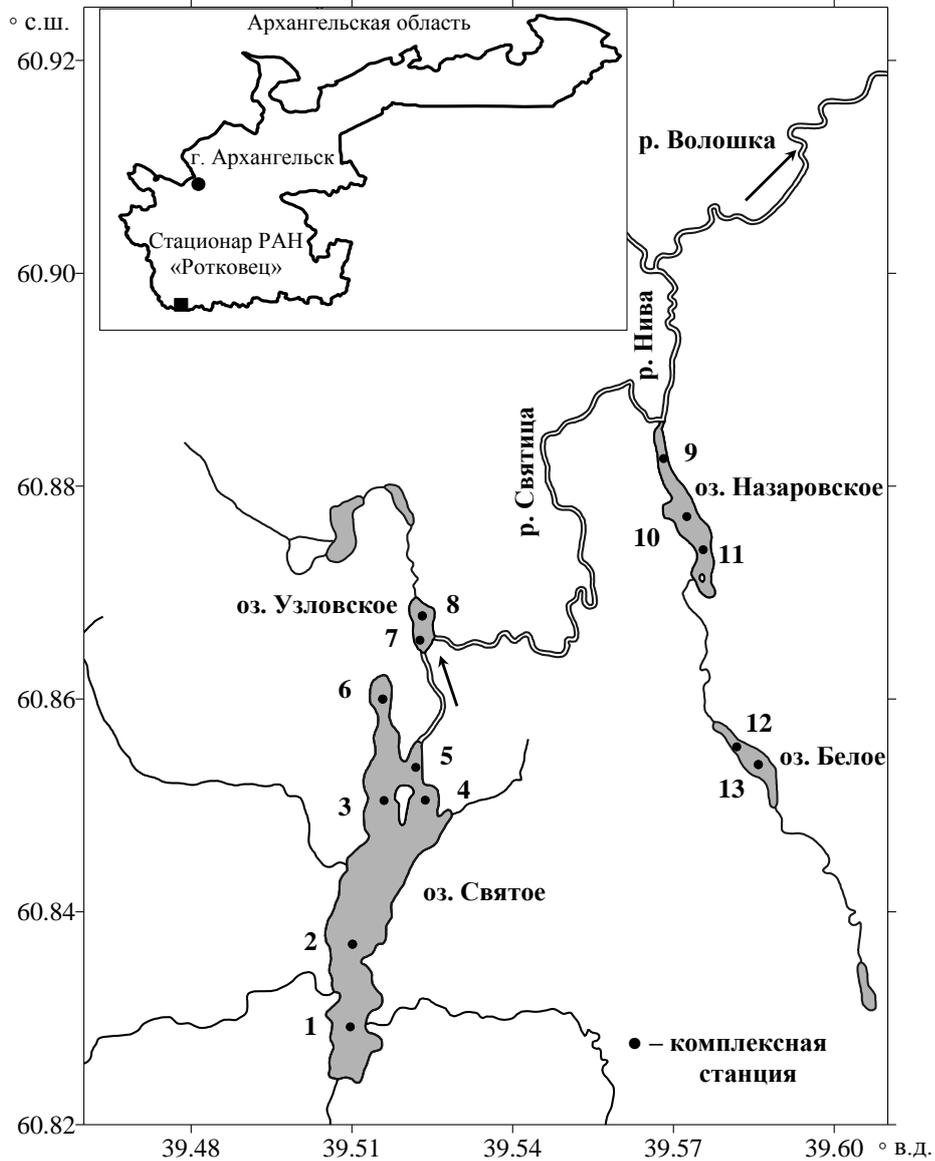


Рис. 1. Карта-схема Ротковецкой группы озер

Пробы зоопланктона обрабатывали счетно-весовым методом; для определения фитопланктона использовали метод фильтрации; выявление пигментов фитопланктона проводили в общем ацетоновом экстракте стандартным спектрофотометрическим методом (Руководство..., 1992). Определение общей численности бактериопланктона (N_6), времени удвоения, биомассы (B_6) и размеров клеток вели по общепринятым методикам (Кузнецов, Дубинина, 1989).

Культивирование микроорганизмов проводили на средах: сухой питательный агар (СПА) для эвтрофов при температурном режиме $+37^{\circ}\text{C}$, $+20$ и $+4^{\circ}\text{C}$; Горбенко (СПА:10) для факультативно олиготрофных и олиготрофных бактерий при температурном режиме $+20^{\circ}\text{C}$ и $+4^{\circ}\text{C}$. Для определения бактерий группы кишечных палочек использовали среды Эндо и МакКонки; дрожжеподобных грибов – Сабуро. Численность фенолоксиляющих бактерий определяли методом предельных разведений на жидкой питательной среде Егоровой; количество факультативно-анаэробных бактерий – методом предельных разведений на тиогликолевой

среде с последующим добавлением вазелинового масла (Руководство..., 1992; Медицинская микробиология, 1999).

Исследования интенсивности продукционно-деструкционных процессов, дыхания бактериопланктона проводили в кислородной модификации (Руководство..., 1992).

Биологическое разнообразие сообществ оценивали с помощью индексов видового богатства Шеннона-Уивера (H') и Маргалефа (D_{Mg}), индексов доминирования – Бергера-Паркера (D_{B-P}) и Симпсона (D_{Sm}) (Мэггаран, 1992). Закономерности пространственного распределения бактериопланктона исследовали на основе кластерного анализа. Связь компонентов микробоценоза с факторами среды оценивали на основе корреляционного анализа.

Статистическую обработку вели с применением пакета программ Excel`97, SPSS 11.0, вычисляя среднее арифметическое значение, медиану, квартили, ошибку среднего, стандартное отклонение, коэффициент корреляции, критерий Стьюдента. Построение графиков и диаграмм осуществляли с помощью стандартных программ Excel`97, Grapher`3. Расчет индексов разнообразия и сходства осуществляли в программе Biodiv (Baev, Penev, 1993). Кластерный анализ данных выполнен с помощью программы Statistica 5.0 с использованием опции Weighted pair-group average, в качестве показателя сходства между объектами использовано евклидово расстояние (Дэвис, 1990; Боровиков, 1998). Построение батиметрических карт, расчет площади и объема озер выполняли с помощью программы Surfer 7.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3. Гидролого-гидрохимическая характеристика Ротковецких озер

Степень воздействия на экосистемы Ротковецких озер различна. Северная часть озера Святого подвергается антропогенному воздействию в виде хозяйственно-бытовых стоков и отходов деятельности маслозавода. Озеро Узловское вследствие минимальной площади акватории и максимальным водосборным бассейном в большей степени подвергается антропогенному воздействию. Озера Назаровское и Белое, непосредственно связанные между собой, практически не испытывают негативного влияния деятельности человека.

Наиболее крупным, глубоким и сложным в морфометрическом отношении в составе данной системы является озеро Святое. Озеро Узловское имеет значительную глубину при наименьшей площади водного зеркала из рассматриваемых озер. Назаровское и Белое озера характеризуются относительно однородным распределением глубин с некоторым увеличением их к центральной части котловин. В табл. 1 приведены морфометрические характеристики озер. Среднегодовой объем стока вод составляет для Святого озера 4.6 его объема, для Узловского –

135, Белого – 27, Назаровского – 21 соответственно своих объемов. Более 50% годового стока приходится на май и июнь.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики исследуемых озер
Ротковецкой группы

Характеристики	Озеро			
	Святое	Узловское	Белое	Назаровское
Длина, км	4.30	0.56	1.30	1.86
Наибольшая ширина, км	0.93	0.31	0.22	0.33
Средняя глубина, м	3.60	2.90	2.00	1.80
Наибольшая глубина, м	16.0	7.8	3.7	4.5
Длина береговой линии, км	12.86	1.50	3.07	4.12
Площадь, км ²	2.110	0.133	0.165	0.325
Объем, км ³	0.007490	0.000333	0.000337	0.000520
Площадь водосбора, км ²	125.0	162.0	32.8	40.3
Отношение площадей озера и водосбора, %	1.69	0.08	0.50	0.81
Среднегодовой сток с водосбора, км ³	0.03445	0.04482	0.00906	0.01115
Отношение объемов озера и стока с водосбора, %	21.70	0.74	3.72	4.66

Прогрев вод в весенний период в озерах происходит при слабой или неустойчивой стратификации, в летний – носит сложный характер. Наибольший запас тепла донных отложений формируется в мелких озерах, в конце зимы воды этих озер обладают большим удельным теплозапасом.

Изучение гидрохимического режима Ротковецких озер проводили в период с 2001 по 2006 гг. В результате исследований установлено, что воды озер Святое, Узловское, Назаровское и Белое относятся к среднеминерализованным, гидрокарбонатного класса кальциевой группы. Кислородный режим их является благоприятным для функционирования гидробионтов экосистем. Ротковецкие озера характеризуются более высокими концентрациями биогенных элементов в придонном горизонте по сравнению с поверхностным, что обусловлено процессами минерализации растительных остатков и активными процессами химического обмена, происходящими на границе водораздела вода-дно (слой иловых масс) и оказывающими существенное влияние на состав озерной воды, в частности, в гипolimнионе. Озеро Узловское, подвергающееся антропогенному прессингу, характеризуется более высоким содержанием биогенных элементов в поверхностном горизонте (табл. 2).

Изменчивость гидрохимических показателей в Ротковецких озерах

горизонт	Показатель					
	рН	мин-я, мг/л	O ₂ , мг/л	БПК ₅ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мкг/л	P _{общ} , мкг/л
озеро Святое						
поверхность	<u>6.8-8.2</u>	<u>80.0-202.0</u>	<u>6.68-11.47</u>	<u>0.21-3.86</u>	<u>1.25-33.73</u>	<u>14.21-78.12</u>
	7.4±0.1	126.2±3.8	9.22±0.31	1.39±0.11	14.58±5.12	41.26±3.89
дно	<u>7.0-7.9</u>	<u>80.0-352.0</u>	<u>4.65-11.19</u>	<u>0.49-4.04</u>	<u>2.93-103.86</u>	<u>17.56-113.70</u>
	7.4±0.1	144.9±10.8	8.99±0.44	1.61±0.25	20.85±5.10	46.01±9.15
озеро Узловское						
поверхность	<u>6.8-7.8</u>	<u>85.0-200.0</u>	<u>6.57-10.47</u>	<u>0.40-1.69</u>	<u>1.25-103.90</u>	<u>15.47-115.40</u>
	7.4±0.2	138.4±9.5	8.44±0.52	1.05±0.11	27.59±36.12	47.12±6.23
дно	<u>7.0-7.9</u>	<u>82.4-202.0</u>	<u>3.57-12.53</u>	<u>0.90-2.03</u>	<u>0.01-66.04</u>	<u>30.51-53.50</u>
	7.3±0.1	158.9±14.8	7.92±1.23	1.22±0.17	21.77±9.38	42.35±6.65
озеро Назаровское						
поверхность	<u>7.2-7.9</u>	<u>92.0-268.0</u>	<u>6.64-11.19</u>	<u>0.64-1.77</u>	<u>0.84-29.29</u>	<u>13.79-138.78</u>
	7.6±0.1	154.6±8.8	8.52±0.43	0.98±0.11	10.92±2.56	54.33±15.12
дно	<u>7.1-7.8</u>	<u>132.8-326.0</u>	<u>4.11-11.17</u>	<u>0.62-3.03</u>	<u>2.09-34.62</u>	<u>15.47-80.67</u>
	7.5±0.2	194.7±34.4	7.79±1.15	1.26±0.59	14.87±6.75	26.65±13.33
озеро Белое						
поверхность	<u>7.3-7.8</u>	<u>114.9-300.0</u>	<u>6.28-11.05</u>	<u>0.16-3.00</u>	<u>3.76-25.10</u>	<u>20.06-78.58</u>
	7.7±0.3	197.5±30.2	8.09±0.52	1.09±0.32	11.61±2.89	50.04±10.44
дно	<u>6.9-8.0</u>	<u>110.7-294.0</u>	<u>2.82-11.05</u>	<u>0.38-4.13</u>	<u>3.34-149.13</u>	<u>15.47-160.70</u>
	7.6±0.2	176.1±19.6	7.63±0.95	2.21±0.62	29.15±17.58	54.24±22.15

Примечание: в числителе – минимальные и максимальные значения; в знаменателе – средние значения с ошибкой.

В сезонной динамике гидрохимических показателей наблюдается накопление биогенных элементов зимой, в условиях подледного режима и снижение их содержания в течение вегетационного периода. Озера характеризуются снижением содержания кислорода, увеличением минерализации в зимний период. Весной вследствие поступления аллохтонного органического вещества происходит увеличение содержания биогенных элементов. Летний период характеризуется дальнейшим повышением минерализации воды, содержания фосфатов.

Глава 4. Структура планктонных сообществ Ротковецких озер

В главе представлены данные о количественном и качественном анализе планктонных сообществ Ротковецких озер, находящихся в условиях различной степени антропогенного прессинга.

В зоопланктонных сообществах озер Святое, Узловское, Назаровское, Белое определено 10 родов, относящихся к классу Rotaria (pp. *Asplancha* Gosse 1850, *Keratella* Bory de St. Vincent 1822, *Trichocerca* Lamarck 1801, *Brachionus* Pallas 1766); подотряду Cladocera (pp. *Bosmina* Baird 1850, *Daphnia* O.F. Müller 1785, *Diaphanosoma* Fischer 1860); подотряду Cyclopoida (*Acantocyclops* Kieffer 1927, *Cyclops* O.F. Muller 1776), подотряду Harpacticoida (*Canthocamptus* Westwood 1836). Зоопланктон озера Святое представлен 9 родами, Узловское – 7 родами, Назаровское – 8 родами и Белое – 7 родами. Озера характеризуются одинаковыми доминирующими родами в зависимости от сезона. Так, в

весенний период в Ротковецких озерах доминируют личиночные стадии *Copepoda* – науплии, летом – р. *Cyclops*, в осенний период – р. *Keratella*. Максимальными показателями общей численности и биомассы характеризуется озеро Узловское, минимальными – Белое. По сезонам наибольшие значения отмечены в летний период, минимальные – в весенний. Количественная и качественная структура зоопланктонных сообществ Ротковецких озер характеризуется естественным развитием и зависит от сезонного фактора.

Исследования фитопланктонных сообществ проводили в 2005 году. Для характеристики структуры сообществ использовали данные состояния весенне-летнего фитопланктона. Весенне-летний фитопланктон Ротковецких озер представлен 22 видами. Встречаются в основном диатомовые (10 видов), зеленые (6 видов), сине-зеленые (4 вида), золотистые (1 вид) и динофитовые (1 вид) водоросли. Фитопланктон озера Святое представлен 18 видами, Узловское – 7 видами, Назаровское – 7 видами и Белое – 11 видами соответственно. Доминирующим видом в летний период в озерах Святое, Узловское и Назаровское является *Asterionella formosa* Hassal 1850, в озере Белое – *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith 1853. Массовыми видами в Ротковецких озерах выступали *Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs 1861 и *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg 1832.

Гидробиологические показатели свидетельствуют о естественном развитии и функционировании планктонных сообществ Ротковецких озер.

Глава 5. Влияние биологических ритмов на активность бактериопланктона, самоочистительную способность Ротковецких озер

В главе представлены данные о суточной, сезонной и межгодовой динамике бактериопланктона.

Изучение суточной динамики компонентов микробоценоза проводили на стационарной, стратифицированной станции озера Святое в летний период 2004 года. Исследовались взаимосвязи показателей бактериопланктона эпи- и гипolimниона с температурой, рН, минерализацией, растворенным кислородом, биогенными элементами.

В целом, концентрация эколого-трофических групп микроорганизмов была выше в эпилимнионе. В структуре микробоценоза преобладают факультативные олиготрофы, максимум которых выявлен в 19 часов как в поверхностном, так и в придонном горизонтах (1840 и 1450 КОЕ/мл соответственно). Содержание эвтрофов также возрастает в течение всего дня до 16 часов включительно, в эпилимнионе содержание данной группы выше, что свидетельствует об усилении процессов разложения аллохтонного органического вещества; к 19 часам происходит стабилизация данного показателя (1515 КОЕ/мл), после чего в поверхностном горизонте выявлено снижение содержания эвтрофов, в то время как в придонных слоях значение численности в течение 9 часов

оставалось практически на одном уровне. Олиготрофные бактерии достигли своего максимума к 22 часам, содержание их составило 1090 КОЕ/мл в эпилимнионе и 1000 КОЕ/мл в гиполимнионе.

Изучение взаимосвязей между компонентами микробсообщества и основными абиотическими показателями выявило положительные корреляционные зависимости сапрофитных бактерий, общей численности и биомассы бактериопланктона с температурой, рН и содержанием растворенного кислорода в эпилимнионе (табл. 3). Выявлена взаимосвязь между общей численностью бактериопланктона поверхностного горизонта с фосфатами, концентрация которых обуславливает степень трофии водоема.

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции Пирсона бактериопланктона с абиотическими факторами (числитель – эпилимнион, знаменатель – гиполимнион)

Компоненты микробсообщества	r (коэффициент корреляции)			
	T, °C	pH	O ₂ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л
Эвтрофы	<u>0.763*</u>	<u>0.663*</u>	<u>0.748*</u>	<u>0.309</u>
	-0.208	0.164	-0.297	0.142
Факультативные олиготрофы	<u>0.151</u>	<u>0.111</u>	<u>0.741*</u>	<u>-0.101</u>
	-0.070	0.165	-0.376	-0.232
Общая численность бактериопланктона	<u>0.776*</u>	<u>0.817**</u>	<u>0.767*</u>	<u>0.599*</u>
	-0.148	0.113	-0.449	-0.205
Биомасса бактериопланктона	<u>0.589*</u>	<u>0.656*</u>	<u>0.804*</u>	<u>0.264</u>
	-0.260	-0.127	-0.551	-0.119

* - p (уровень значимости) < 0.05; ** - p < 0.01

Таким образом, в суточной динамике бактериопланктона, одного из основных факторов самоочищения озера Святое, выявлена взаимосвязь с основными абиотическими факторами (температурой, рН, растворенным кислородом, биогенными элементами (фосфаты)), обеспечивающими его максимальную активность.

В сезонной динамике бактериопланктона Ротковецких озер выявлена следующая закономерность. Установлены заметные различия в состоянии бактериопланктона Ротковецких озер в подледный период и период открытой воды. Минимальные показатели общей численности (медианные значения) в поверхностном горизонте зимой в озере Святое составили 1.93 млн кл/мл, Узловское 1.43 млн кл/мл; максимальные – летом: в озере Святое 2.97 млн кл/мл, а в озерах Узловское, Назаровское, Белое осенью (4.18, 2.98, 3.68 млн кл/мл соответственно). В период открытой воды, при увеличении концентрации органических веществ и температуры воды, общее количество, биомасса, концентрация различных эколого-трофических групп бактериопланктона по сравнению с зимой увеличивается. Интенсификация микробиологических процессов затрагивает как поверхностные, так и придонные слои.

Интенсивность антропогенного воздействия на озера меняется год от года. Бактериопланктон первым реагирует на изменение условий в водоеме, в связи с этим, исследования микробоценоза в межгодовом аспекте имеют немаловажное значение. Для характеристики межгодовых изменений бактериопланктона использованы данные за период с 2001 по 2006 года.

Результаты указывают на стабильный уровень содержания аллохтонной составляющей микробоценоза в поверхностном горизонте озера Святое во все периоды исследований. Показатели содержания автохтонной составляющей микробоценоза варьируют в зависимости от года, в целом значения концентраций данной группы превышают таковые аллохтонного бактериопланктона, что говорит об идущих процессах самоочищения. Медианные значения динамики факультативно-олиготрофного бактериопланктона в зависимости от года указывают на присутствующую тенденцию увеличения численности данной группы в поверхностном и придонном горизонтах в 2004 году по сравнению с 2003 г. и последующим снижением в 2005 году (170 и 120 КОЕ/мл, 876 и 965 КОЕ/мл, 685 и 700 КОЕ/мл в поверхностном и придонном горизонтах в 2003, 2004, 2005 гг. соответственно) (рис. 2).

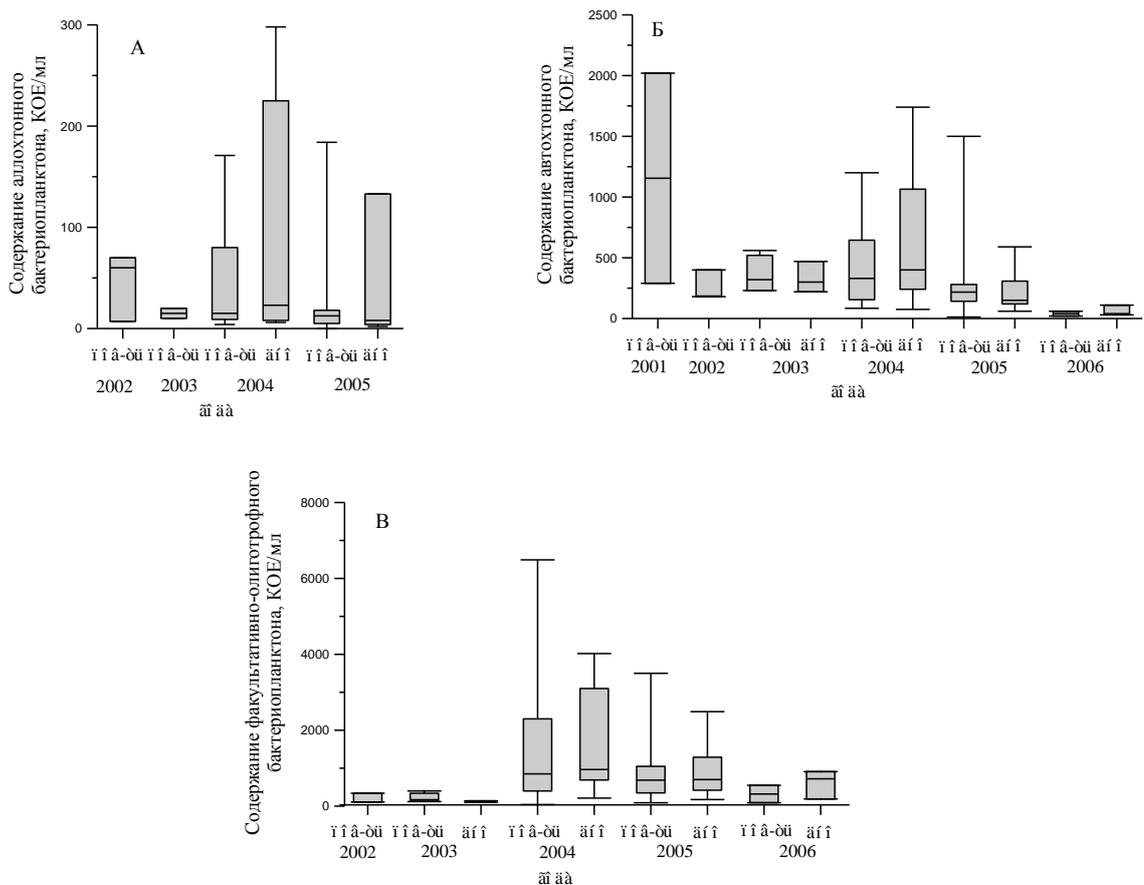


Рис. 2. Межгодовая динамика аллохтонного (А), автохтонного эвтрофного (Б) и факультативно-олиготрофного (В) бактериопланктона озера Святое

Кластерный анализ пространственной неоднородности количественного содержания различных эколого-трофических групп бактериопланктонного сообщества озера Святое, представленный на рис. 3, достоверно показал различные условия биотопов экосистемы озера в зависимости от степени антропогенного и природного факторов. Так, первая группа кластеров, включающая в себя станцию 6 (эпи- и гипolimнион), максимально отличается от придонных горизонтов станции 1 и 2 (группа 3). Различие биотопов (ст.1 и 6), расположенных в южной и северной части озера соответственно, обусловлено разной степенью антропогенной нагрузки. Станция 6 подвержена воздействию деятельности маслозавода и максимальной концентрации на водосборной площади данной части озера населенного сектора. Вторая группа кластеров объединяет поверхностные горизонты станций №№ 1-5, не испытывающих влияния.

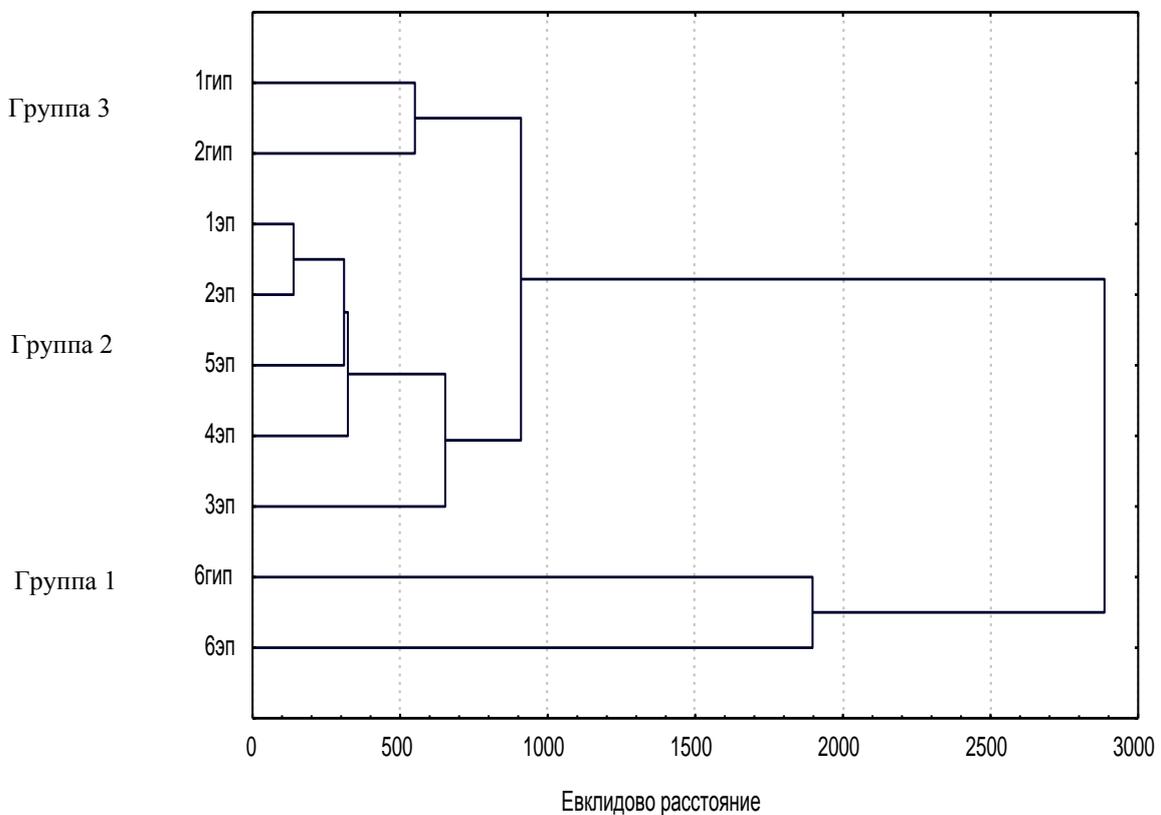


Рис. 3. Дендрограмма кластерного анализа пространственной неоднородности бактериопланктона озера Святое (1-6 - № станций; эп-поверхностный горизонт, гип-придонный горизонт)

Межгодовая динамика показателей микробоценоза носит сложный характер. Озеро Узловское и северная часть озера Святое, подвергающиеся антропогенному прессингу в виде концентрации на водосборной площади населенных пунктов, характеризуются стабильным поступлением в водоемы аллохтонного органического вещества, однако эколого-трофическая структура гетеротрофного бактериопланктона

свидетельствует об активности процессов самоочищения воды. Изучение численности представителей бактерий группы кишечной палочки и дрожжеподобных грибов указывают на загрязнение северной части экосистемы озера хозяйственно-фекальными стоками и отходами производства маслозавода (озеро Святое), возросшими в 2004 году; концентрации данных сообществ в придонном горизонте наряду с поверхностным свидетельствуют об аккумуляции загрязнителей в гипоплимнионе.

Межгодовая динамика бактериопланктона озер Назаровское и Белое, практически не подвергающихся антропогенному воздействию, имеющих схожую гидрологическую характеристику, выявила активность гетеротрофного бактериопланктона во все периоды исследований.

Таким образом, на распределение бактериопланктона в изученных озерах оказывают влияние структура водоема и антропогенный прессинг. По особенностям вертикального распределения бактериопланктона, воздействию сезонного фактора на функционирование микробных сообществ на различных горизонтах выявлены сходства экосистем озер Святое и Узловское в силу непосредственной связи и наличия антропогенного воздействия; экосистем озер Назаровское и Белое вследствие связи, гидрологических особенностей и функционированием экосистемы, обусловленной воздействием непосредственно природных циклических явлений.

Глава 6. Интенсивность продукционно-деструкционных процессов как показатель самоочищения вод в Ротковецких озерах

В озерах Святое, Узловское, Белое, подвергающихся разной степени антропогенной нагрузки, исследования продукционно-деструкционных процессов проводили в разные биологические периоды 2004-2006 гг.

В озерах наблюдали сходную сезонную динамику интенсивности образования первичной продукции. Максимальные значения образования первичной продукции в Ротковецких озерах зафиксированы в период массового развития фитопланктона, когда условия освещения и температура воды наиболее благоприятны для протекания процессов фотосинтеза. В весенний и осенний периоды интенсивность образования первичной продукции снижается. Величины первичной продукции, близкие к нулю, отмечены в условиях подледного режима, когда подо льдом и покрывающим его слоем снега фотосинтез планктона практически прекращается. При этом пигментный индекс, отражающий соотношение в фитопланктоне каротиноидов и хлорофилла «а», варьирующий в пределах 1.01-1.18, свидетельствует о благополучном состоянии фитопланктона.

Вертикальное распределение величин первичной продукции и деструкции органического вещества обусловлено интенсивностью освещения, прозрачностью и гидрологическими особенностями озер. Значения прозрачности Ротковецких озер варьировали в пределах 1.25-2.80 м в разные сезоны периода открытой воды. Абиотические показатели

(температура, рН, минерализация воды) в фотическом слое распределялись следующим образом: отмечено некоторое уменьшение значений температуры и рН воды с глубиной, минерализация воды изменялась в незначительной степени. Наряду с незначительной глубиной трофогенного слоя, неравномерным распределением фитопланктона по его глубине, обусловленной изменчивостью температуры воды и освещенности с глубиной, отмечены довольно высокие показатели первичной продукции – 1102, 355.5, 182.3 мг С/(м²×сут) в озерах Святое, Узловское и Белое соответственно. Как показывает рис. 4., в озерах отмечается тенденция усиления деструкционных процессов с глубиной, которая наиболее ярко выражена в озере Узловское.

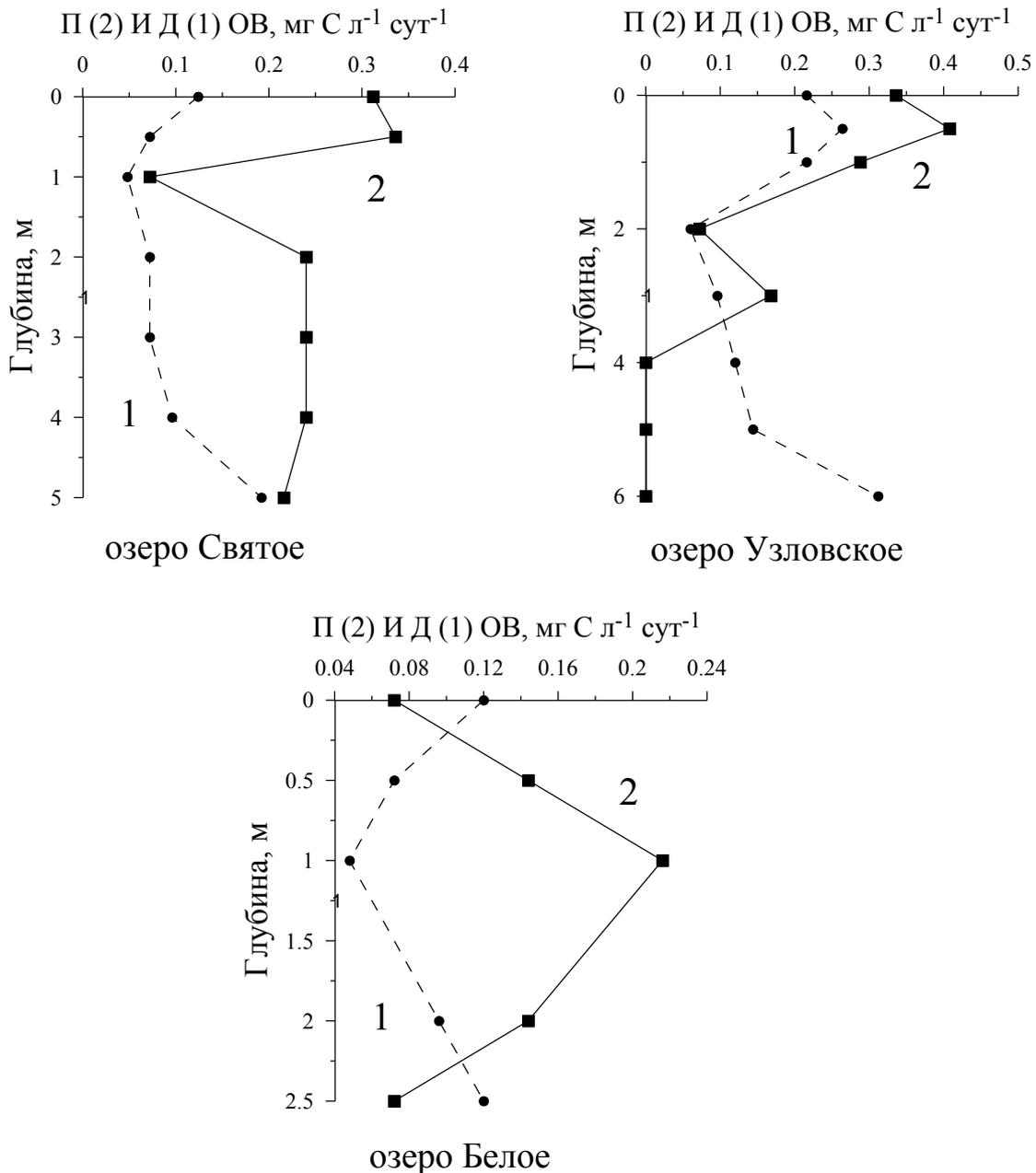


Рис. 4. Распределение величин валовой продукции (П)-2 и деструкции (Д)-1 органического вещества (ОВ) в толще воды фотического слоя Ротковецких озер (август 2006 г.)

Изучение взаимосвязей между показателями валовой первичной продукции (ВП), деструкции органического вещества (ДОВ) и чистой первичной продукции (ЧПП) Ротковецких озер и основными абиотическими факторами среды (температурой, рН, минерализацией воды), выявило положительные корреляционные зависимости валовой первичной продукции с температурой и рН воды ($r=0.598$; $r=0.729$ соответственно, $p<0.01$); чистой первичной продукции с температурой воды ($r=0.730$, $p<0.01$).

Результаты пяти экспозиций в течение суток указывают на наиболее интенсивное образование первичной продукции в период с 15.00 по 19.00 час (1488 мг С/(м²×сут)), что обусловлено благоприятными факторами, влияющими на продукционные возможности. Показатели деструкции органического вещества планктоном минимальны в утренние часы (73 мг С/(м²×сут), затем отмечено повышение значений в период с 15.00-19.00 часов за счет интенсификации микробиологических процессов (576 мг С/(м²×сут)). До полуночи отмечен спад скорости деструкционных процессов, после чего в период с 00.00 по 8.00 часов зафиксирован максимум показателей деструкции органического вещества (826 мг С/(м²×сут)) наряду с отсутствием продукционных процессов. Следовательно, максимальный прирост первичной продукции вещества в озере Святое происходит во второй половине дня, когда определяющие развитие фитопланктона факторы наиболее благоприятны.

Фитопланктон, определяющий первичную продукцию водоема, находится в активном физиологическом состоянии. По трофическому статусу, исходя из средних показателей величин суточной первичной продукции, Ротковецкие озера можно определить как мезотрофные. Развитие процессов продукции органического вещества начинается после весеннего паводка, обогащения воды биогенными элементами, достигая максимума в конце лета (августе), в наиболее благоприятный для фитопланктона период.

Интенсивность размножения бактериопланктона Ротковецких озер была максимальной в летний период (оз. Святое – 25 часов, оз. Узловское – 18 часов, оз. Белое – 31 час), осенью наблюдается снижение скорости размножения за счет повышения времени генерации, обусловленное сезонным охлаждением вод (оз. Святое – 48 часов, оз. Узловское – 37 часов, оз. Белое – 49 часов). Полученные данные свидетельствуют о том, что бактериопланктон Ротковецких озер находится в активном состоянии; в частности, показатели скорости потребления кислорода указывают на участие данного сообщества в процессах деструкции органического вещества.

Вклад бактериопланктона в деструкционные процессы в Ротковецких озерах составляет 37-38%, что говорит об активном (исходя из значений времени генерации бактериопланктона) участии данного сообщества в процессах самоочищения.

ВЫВОДЫ

1. Озера в районе геобиосферного стационара РАН «Ротковец» относятся к разряду среднеминерализованных, гидрокарбонатных кальциевой группы, что обусловлено составом коренных карбонатных пород; гидролого-гидрохимические особенности оказывают первостепенное влияние на функционирование биоценозов озерных экосистем.

2. Функционирование планктонных сообществ Ротковецких озер характеризуется естественными процессами развития: в сезонной динамике зоо- и фитопланктона максимум развития выявлен в период открытой воды; таксономическая структура представлена родами и видами, характерными для водных экосистем северо-запада Европейской части России.

3. Для показателей общей численности, биомассы и различных эколого-трофических групп бактериопланктона озера Святое характерен четко выраженный суточный цикл; суточная динамика компонентов бактериопланктона положительно коррелирует с изменчивостью температуры, pH, содержания растворенного кислорода в воде.

4. Сезонная и межгодовая динамика бактериопланктона озер Святое и Узловское, Назаровское и Белое обусловлены особенностями гидрологического режима и степенью антропогенной нагрузки на водосборный бассейн и непосредственно на водоем.

5. Лимнические системы, подвергающиеся антропогенной нагрузке (оз. Святое, Узловское), характеризуются более высокими значениями первичной продукции; в озере Узловское, в большей степени подвергающемся антропогенному прессингу при минимальной площади акватории водоема и максимальной территории водосбора, деструкционные процессы протекают интенсивнее продукционных.

6. В воде изученных озер доля бактериальной деструкции от общего ее уровня составляла 37-38%, что указывает на активное участие бактериопланктона Ротковецких озер в процессах самоочищения водоемов.

7. Абсолютные величины первичной продукции и деструкции органического вещества, количественных и функциональных характеристик бактериопланктона определяют водную среду Ротковецких озер как стабильно мезотрофную.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Широкова Л.С.**, Кузнецова В.М. Микробиологические исследования водных экосистем Коношского района Архангельской области // Тезисы молодежной международной конференции «Экология – 2003». Архангельск: Ин-т экологических проблем Севера УрО РАН, 2003. С.84-85.
2. **Широкова Л.С.**, Махнович Н.М., Добродеева Л.К. Перспективы изучения озер Коношского района на примере экосистемы озера Святое // Экология человека. 2004. № 4. Т.2. 2004. С.277-280.
3. Махнович Н.М., **Широкова Л.С.**, Воробьева Т.Я., Забелина С.А. Состояние ихтиофауны и микробиоценоза озера Святое // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Материалы IX международной конференции. Петрозаводск, 2004. С.224-226.
4. **Широкова Л.С.**, Воробьева Т.Я., Забелина С.А. Особенности функционирования микробиоценоза экосистемы озера Святое Коношского района // Экологическое образование и экологическая наука: сотрудничество и проблемы. Материалы докл. науч. конф. Архангельск: ПомГУ, 2004. С. 303 – 305.
5. **Широкова Л.С.**, Воробьева Т.Я., Забелина С.А. Структура бактериопланктона озера Святое Ротковецкой озерно-речной системы. // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тезисы докладов на Международной научной конференции. (г. Архангельск, 21-25 июня 2005). Санкт-Петербург, 2005. С.117.
6. Забелина С.А., **Широкова Л.С.**, Воробьева Т.Я., Морева О.Ю. Характеристика гетеротрофного микробного сообщества системы озер Геобиосферного стационара «Ротковец» // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тезисы докладов на Международной научной конференции. (г. Архангельск, 21-25 июня 2005). Санкт-Петербург, 2005. С.40.
7. Тарасова Н.А., **Широкова Л.С.**, Махнович Н.М., Воробьева Т.Я., Забелина С.А. Структура планктонных сообществ системы Ротковецких озер // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тезисы докладов на Международной научной конференции (г. Архангельск, 21-25 июня 2005). Санкт-Петербург, 2005. С.107.
8. **Широкова Л.С.** К вопросу о структуре бактериопланктона в малых озерах бассейна Белого моря // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов

Европейского Севера. Сборник материалов IV Международной конференции. Ч. 2. Вологда, 2005. С 256-258.

9. **Широкова Л.С.**, Махнович Н.М., Воробьева Т.Я., Забелина С.А., Морева О.Ю. Характеристика планктонных сообществ Ротковецкой озерно-речной системы // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Труды международной конференции. Санкт-Петербург, 2005. С. 227-233.

10. **Широкова Л.С.** Структура бактериопланктона озера Святое (Бассейн Белого моря) // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Сборник материалов II Всероссийской научной конференции. Йошкар-Ола: Мар.гос.ун-т. 2006. С.223-224.

11. **Широкова Л.С.**, Добродеева Л.К. Роль бактериопланктона в процессах самоочищения Ротковецких озер (Коношский район) // Вестник Поморского университета. Серия естественные и точные науки. 2006. №1(9). С. 115-122.

12. **Широкова Л.С.** Планктонные сообщества как биоиндикаторы состояния экосистем Ротковецких озер // Биоиндикация в экологическом мониторинге пресноводных экосистем, Тезисы докладов. Санкт-Петербург, 2006. С. 166.