

**МИХАЙЛОВ ВЯЧЕСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ  
РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА**

03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

**Тюмень – 2020**

Работа выполнена на кафедре экологии, природопользования и биологии  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Омский государственный аграрный университет им. П.А.  
Столыпина»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук,  
профессор ФГБОУ ВО Омский ГАУ  
**Баженова Ольга Прокопьевна**

**Официальные оппоненты:** **Иванова Елена Анатольевна**  
доктор биологических наук,  
профессор ФГАОУ ВО Сибирский  
федеральный университет

**Русанов Александр Геннадьевич**  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
ФГБУН Институт озераедения РАН

**Ведущая организация:** ФГБУН Институт биологических  
проблем криолитозоны СО РАН

Защита состоится «17» ноября 2020 г. в 10-00 на заседании диссертационного  
совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО Государственный аграрный университет  
Северного Зауралья по адресу:

625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7.

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52;

e-mail: dissgausz@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного  
аграрного университета Северного Зауралья и на сайте университета  
<http://www/tsaa.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность исследования.** Интенсивный рост населения Земли и ускоряющееся потребление водных ресурсов привели к их истощению и возникновению глобального дефицита пресной воды. Доминирующая в сознании людей концепция «общества потребления», а также интенсивная антропогенная деятельность способствовала нерациональному использованию и загрязнению пресных поверхностных и подземных источников питьевой воды, превратив воду в ценнейший товар, владение которым будет определять будущее развитие всех стран мира (Данилов-Данильян, 2008).

Качество воды рек и озер определяет продолжительность и условия жизни населения. Бесконтрольный сброс в водоемы бытовых и неочищенных промышленных сточных вод, разрушение их водосборных площадей, вырубка лесов и применение методов ведения сельского хозяйства, не учитывающих природно-климатические условия, приводит не только к снижению биоразнообразия водных экосистем, но и к росту патогенных микроорганизмов, вызывающих у людей различные заболевания (Комаров, Кашарный, 2010).

Созданное в 1957 г. Новосибирское водохранилище в начале эксплуатации использовали для получения энергии, но уже с 1987 г. оно становится основным источником питьевого водоснабжения г. Новосибирска (Сершун, 2007), качество вод которого должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормам (Многолетняя динамика..., 2014).

При проведении оценки качества воды активно используется метод биоиндикации. Часто природным индикатором при этом выступает фитопланктон, который первым реагирует на изменения, происходящие в водных экосистемах, что приводит к смене видового состава и структуры, колебаниям численности и биомассы, позволяя оценить экологическое состояние водного объекта (Барина и др., 2000; Баженова, 2005).

С 2007 г. состояние летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища характеризовалось по концентрации хлорофилла «а» (Кириллова, Котовщиков, 2009) и данным дистанционного зондирования (Компьютерное моделирование..., 2009, Сравнительные оценки..., 2012; Исследование пространственного..., 2012; Многолетняя динамика..., 2014), оценка качества его вод по показателям развития фитопланктона не проводилась. Поэтому возникла необходимость изучения текущего состояния фитопланктона Новосибирского водохранилища, что позволит оценить современное состояние его экосистемы.

**Цель исследования** – оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона.

### **Задачи исследований:**

1. Изучить таксономический состав и структуру фитопланктона;

2. Выделить доминирующие комплексы фитопланктона;
3. Провести анализ эколого-географических характеристик идентифицированных видов фитопланктона;
4. Установить особенности вертикального и горизонтального распределения фитопланктона по акватории водохранилища, его суточной динамики;
5. Выявить особенности межгодовой динамики численности и биомассы фитопланктона
6. Определить современный трофический статус и качество воды Новосибирского водохранилища.

**Научная новизна.** Впервые на основании изучения показателей развития фитопланктона установлено ускорение процесса антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища. Составлен аннотированный таксономический список водорослей и цианобактерий, проведен его сравнительный анализ с данными предыдущих исследований. Идентифицированы 96 новых для водохранилища видовых и внутривидовых таксонов. Впервые установлено, что суточная динамика фитопланктона Новосибирского водохранилища в зарослях макрофитов имеет более высокие показатели обилия, чем в открытой литорали, что связано с влиянием высших водных растений, формирующих особые условия обитания гидробионтов. По показателям развития фитопланктона определен современный трофический статус Новосибирского водохранилища.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные в работе данные расширяют и дополняют теоретические положения о структурных изменениях фитопланктоценозов, происходящих при ускорении антропогенного эвтрофирования. Доказано влияние высших водных растений на суточную динамику фитопланктона.

Полученные данные позволили определить современный трофический статус, оценить качество воды Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона, значительно расширить таксономический список водорослей и цианобактерий. Полученные результаты могут быть использованы при проведении биомониторинга Новосибирского водохранилища, оценки и прогноза дальнейших изменений его экологического состояния.

Результаты исследований используются в учебном процессе на кафедре экологии, природопользования и биологии ФГБОУ ВО Омский ГАУ при чтении курсов лекций «Общая экология» и «Современные проблемы экологии и природопользования Западной Сибири» по направлению обучения «Экология и природопользование» (бакалавриат и магистратура).

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Отмечаемые в последние годы структурные изменения фитопланктоценоза (высокая скорость сукцессии видового состава, возрастание объема

доминирующего комплекса фитопланктона и др.) свидетельствуют об ускорении процесса антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища.

2. Суточная динамика фитопланктона Новосибирского водохранилища в зарослях макрофитов имеет более высокие показатели обилия, чем в открытой литорали, что связано с влиянием высших водных растений, формирующих особые условия обитания гидробионтов.

3. Современное экологическое состояние Новосибирского водохранилища характеризуется ускорением процесса антропогенного эвтрофирования, последствиями которого являются возрастание трофического статуса и снижение качества воды.

**Личный вклад автора.** Автором был проведен отбор и обработка проб летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища с 2016 по 2018 гг. Автором лично обработаны суточные пробы фитопланктона за 2013–2015 гг., предоставленные руководителем Новосибирского филиала Института водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН. Анализ и интерпретация полученных результатов, написание текста диссертации проведены автором лично.

**Апробация работы.** Материалы исследований были представлены на I научно-практической конференции, посвященной 20-летию юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии (Омск, 2016); на III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии» (Барнаул, 2017); на I региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов», посвященной 100-летию Омского государственного аграрного университета (Омск, 2017); на Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина (Омск, 2018).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 6 работ, из которых 2 – в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 197 страницах, содержит 25 рисунков, 15 таблиц и 4 приложения. Список литературы включает 211 наименований, в т.ч. 18 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор искренне благодарен научному руководителю доктору биол. наук, профессору О.П. Баженовой за ценные советы при написании диссертации. Автор глубоко признателен заведующему лабораторией водной экологии ИВЭП СО РАН, канд. биол. наук В.В. Кириллову за организацию экспедиций на Новосибирское водохранилище, руководителю экспедиционного отряда канд. биол. наук А.В. Котовщикову за помощь при отборе проб

фитопланктона, научному сотруднику А.В. Дьяченко за помощь при работе на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ).

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. История изучения фитопланктона Новосибирского водохранилища (литературный обзор)**

На основании литературных данных рассматривается история изучения фитопланктона Новосибирского водохранилища, его видового состава и структуры, численности и биомассы, состава доминирующего комплекса, особенностей распределения по акватории водохранилища, качество воды по индексу сапробности Пантле и Букку и хлорофиллу «а».

### **Глава 2. Природно-климатические условия района Новосибирского водохранилища и его характеристика**

Новосибирское водохранилище находится на территории Новосибирской области и Алтайского края, климат которой характеризуется продолжительной умеренно-суровой малоснежной зимой, кратковременным жарким летом и малооблачной с ранними заморозками осенью (Воронина, Гриценко, 2011; Многолетняя динамика..., 2014).

Новосибирское водохранилище – искусственный водоем в бассейне р. Оби долинного типа линейно-вытянутой формы. Площадь водного зеркала 1070–1090 км<sup>2</sup>. Максимальная ширина 22 км, минимальная – 2 км. Полный объем водоема – 8,8 км<sup>3</sup>, полезный – 4,4 км<sup>3</sup>. Максимальная глубина 25 м, средняя – 9 м, протяженность около 180 км, длина по затопленному руслу р. Оби – 230 км (Бейром и др., 1973; Гидрометеорологический режим..., 1979).

По классификации М.А. Фортунатова (1974) Новосибирское водохранилище относится к водоемам с высокой степенью водообмена (Атавин и др., 2014). По классификации О.А. Алекина (1970) его вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, I–II типу, категории слабоминерализованных вод (Гидрометеорологический режим..., 1979; Мониторинг качества..., 1995; Химические формы..., 2006). Активная реакция среды колеблется от нейтральной до слабощелочной (Савкин, Двуреченская, 2018).

### **Глава 3. Объекты и методы исследований**

Объект исследований – летний фитопланктон Новосибирского водохранилища. Известно, что данные, полученные в летний сезон, наиболее репрезентативно отражают экологическое состояние водных объектов, поскольку в это время их флора и фауна развиты наиболее полно, а процессы самоочищения протекают с наибольшей интенсивностью (Федоров, Капков, 2000).

Диссертация написана по материалам, полученным при обработке количественных и качественных проб фитопланктона, отобранных на 10 створах, равномерно расположенных по всей акватории Новосибирского водохранилища в августе 2016 и 2017 гг. и в июле 2018 г. (рис. 1).

В диссертацию вошли материалы обработки 54 суточных проб фитопланктона, отобранных в Бердском заливе в августе 2013–2015 гг. Пробы были предоставлены автору для обработки директором Новосибирского филиала ИВЭП СО РАН Н.И. Ермолаевой. Отбор суточных проб фитопланктона производили из поверхностного слоя воды каждые 3 часа в течение суток (от 15.00 ч первых суток по 15.00 ч следующего дня) на двух участках литоральной зоны – в зарослях погруженных растений и в открытой литорали на расстоянии 15 м от зарослей. Отбор проб фитопланктона на станциях проводили из поверхностного слоя воды, у дна и на различных глубинах фотического слоя: 0,5S, 1S, 2S, где S – прозрачность воды по диску Секки. Пробы отбирали батометрами Ван-Дорна (1–3 створы) и Молчанова (4–10 створы) на трех точках створа: середина, левый и правый берег. Количественные пробы фитопланктона объемом 0,5 л фиксировали 40 % раствором формалина, концентрировали осадочным методом (Федоров, 1979).



Рисунок 1 – Карта-схема расположения гидробиологических створов Новосибирского водохранилища:

- 1 – Камень-на-Оби; 2 – Дресвянка; 3 – Малетино; 4 – Спирино – Чингисы; 5 – Ордынское – Нижняя Каменка; 6 – Боровое – Быстровка; 7 – Ленинское – Сосновка; 8 – Бердский залив, Агролес; 9 – Бердский залив, Речкуновка; 10 – верхний бьеф плотины Новосибирской ГЭС.

За 3 года исследований было отобрано и обработано 150 количественных (45 – в 2016 г., 55 – в 2017 г., 50 – в 2018 г.) и 10 качественных проб фитопланктона. С учетом суточных проб (54) общее количество обработанных проб фитопланктона составило 214.

Таксономический список фитопланктона составлен с учетом современных представлений о систематике водорослей на основе открытого интернет-ресурса Algaebase (<http://www.algaebase.org>) с использованием отечественных и зарубежных определителей, монографий и систематических сводок. Идентификацию видов диатомовых водорослей осуществляли по фотографиям их створок, полученным на СЭМ Hitachi S 3400N в ИВЭП СО РАН и на постоянных препаратах. Материалом для них послужили интегрированные пробы, охватывающие все части акватории водохранилища.

Выделение доминирующих видов проводили по численности, как это рекомендовано для эвтрофированных водных объектов (Михеева, 1992). К доминантам относили виды, численность которых составляла не менее 10 % от общей (Корнева, 2009), для них рассчитывали частоту встречаемости, частоту и порядок доминирования (Макаревич, 1966; Кожова, 1970; Горбулин, 2012).

Класс и категорию качества воды, трофический статус Новосибирского водохранилища устанавливали по биомассе фитопланктона (Комплексная экологическая..., 1993). Оценку флористического сходства фитопланктона между частями Новосибирского водохранилища проводили по коэффициенту Чекановского-Сёренсена (Кч–с) (Шмидт, 1980; Мэгарран, 1992). Качество вод определяли по индексу сапробности Пантле и Букку (S), в модификации М. Зелинки и П. Марвана (Шитиков и др., 2003) Индексы сапробности видов-индикаторов взяты из (Баринова и др., 2000, 2006).

Показатели экологической характеристики видов фитопланктона включали отношение к солености воды по классификации Р. Кольбе (Прошкина-Лавренко, 1953), отношение к реакции среды (pH) по шкале Ф. Хустедта (Баринова и др., 2006), местообитание и географическое распространение (Баринова и др., 2000, 2006).

Результаты исследования подвергали статистическому анализу с определением средней арифметической величины и ошибки средней. Значимость различий оценивали на основании непараметрического критерия Манна-Уитни (Лакин, 1990; Пузаченко, 2004). В работе обсуждаются величины, достоверные при  $p \leq 0,05$ . Проведение расчетов с использованием статистических функций, создание рисунков и схем, используемых в диссертации, производили в программе Microsoft Office Excel 2010. Обработку электронных фотографий створок диатомовых водорослей осуществляли при помощи программ Microsoft Office 2010 и Paint.



## Глава 4. Летний фитопланктон Новосибирского водохранилища

### 4.1. Видовой состав и таксономическая структура фитопланктона

В летнем фитопланктоне Новосибирского водохранилища в 2016-2018 гг. найдено 292 видовых и внутривидовых таксона (ВВТ) из 7 отделов, в том числе: Cyanobacteria – 18, Miozoa (Dinophyceae) – 3, Ochrophyta – 16, Euglenophyta – 20, Bacillariophyta – 149, Chlorophyta – 77, Charophyta – 9. Наибольшую долю в видовом составе фитопланктона составляли диатомовые (51,03 %) и зеленые (26,37 %) водоросли, доля остальных отделов колебалась в пределах 1-7 % (рис. 2).

Обязательным условием исследования таксономического состава является его соответствие зависимости Виллиса. Кривая Виллиса для летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища соответствовала этой зависимости (рис. 3), поэтому фитопланктон можно характеризовать с позиций системного анализа, включая таксономический состав, видовое богатство и его динамику.

96 ВВТ являются новыми для водохранилища, их значительная доля (32,53 %) свидетельствует об интенсивно идущей сукцессии. При исследовании фитопланктона других водных объектов было установлено, что высокая скорость сукцессии видового состава наблюдается при ускорении процесса антропогенного эвтрофирования (Охапкин, 1997; Баженова, 2005; Баженова, Гульченко, 2017).

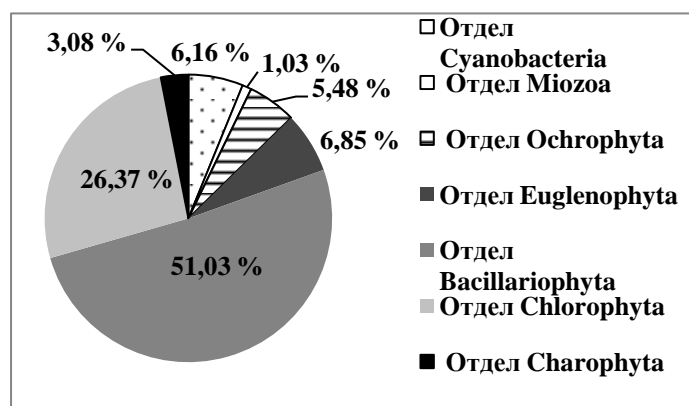


Рисунок 2 – Таксономическая структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

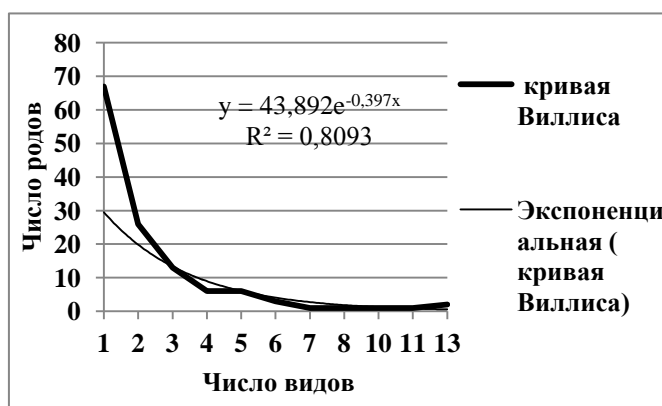


Рисунок 3 – Зависимость Виллиса для летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища

### 4.2. Эколого-географическая характеристика водорослей и цианобактерий

В фитопланктоне Новосибирского водохранилища по отношению к солености воды по отношению к солености воды преобладают индифференты, по отношению к активной реакции среды (pH) – алкалифилы и индифференты, по географической приуроченности – космополиты, по месту обитания – бентосные и планктонно-бентосные виды. Преобладание в составе фитопланктона водохранилища определенных экологических групп водорослей и цианобактерий отражает

географическое положение исследуемого водоема и сложившиеся в нем экологические условия.

#### 4.3. Доминирующий комплекс фитопланктона

В доминирующий комплекс летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища входил 21 вид, его формировали представители 4 отделов – цианобактерии (11 видов), диатомовые (4), зеленые (5) и харовые (1) водоросли.

Высокое флористическое сходство доминирующего комплекса ( $K_{\text{Ч-С}}=0,46-0,67$ ) свидетельствует о значительной однородности его состава по всей акватории водохранилища, исключая Бердский залив. В межгодовом аспекте отмечено постоянство доминирующего комплекса в верхней части водоема и Бердском заливе, в других частях его состав подвержен изменениям.

Максимальные показатели порядка, частоты доминирования и встречаемости характерны для *Aulacoseira granulata*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Stephanodiscus hantzschii*.

Увеличение количества доминирующих видов (с 11 до 21) и преобладание в его составе цианобактерий по сравнению с концом XX века вызвано ускорением процесса антропогенного эвтрофирования водохранилища.

#### 4.4. Распределение фитопланктона по акватории водохранилища и его межгодовая динамика

Распределение численности и биомассы фитопланктона по продольной оси водохранилища отличается неоднородностью и имеет существенные межгодовые различия, которые вызваны особенностями климата и водности этих лет (рис. 4, 5, табл. 1).

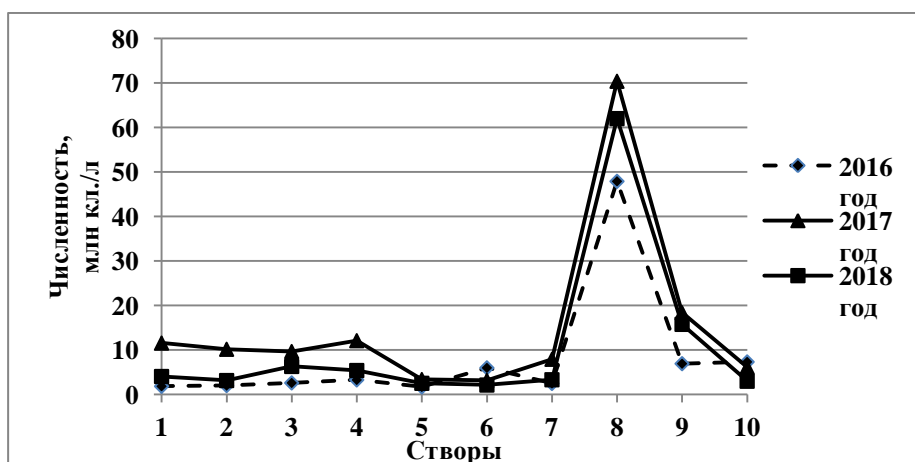


Рисунок 4 – Межгодовая динамика численности летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, июль–август 2016-2018 гг.

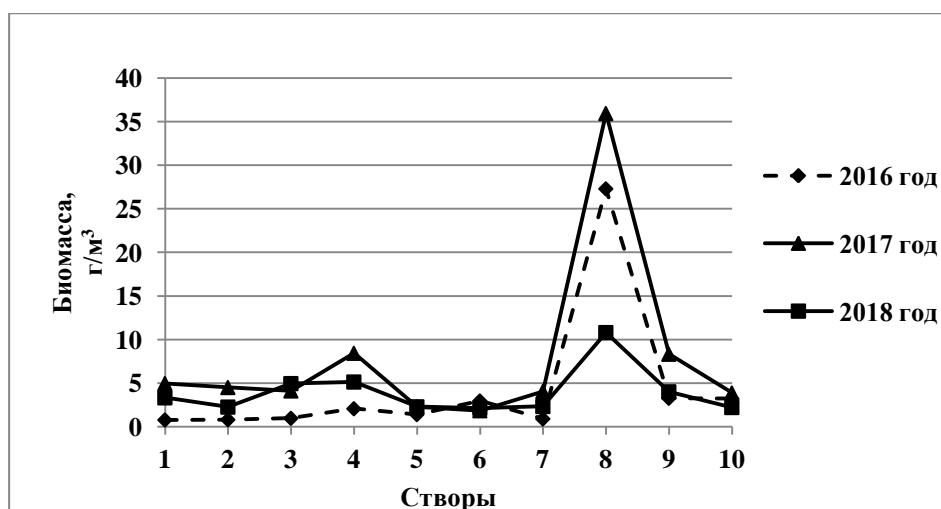


Рисунок 5 – Межгодовая динамика биомассы летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, июль–август 2016-2018 гг.

Указанное явление характерно для водных объектов, в которых наблюдается высокий уровень антропогенного эвтрофирования (Трифонов, 1990; Баженова, 2005). Особое место занимает Бердский залив, в котором наблюдаются максимальные показатели обилия фитопланктона, обусловленные «цветением» цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae*.

Таблица 1 – Средняя численность и биомасса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, июль–август 2016-2018 гг.

Части водохранилища	Средняя численность, млн. кл./л			Средняя биомасса, г/м³		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
верхняя	2,20±0,18	10,50±0,46	4,54±0,77	0,91±0,06	4,54±0,46	3,53±0,64
средняя	2,54±0,78	7,78±3,09	4,00±1,01	1,76±0,34	5,41±2,20	3,73±1,00
нижняя	5,31±1,18	5,78±1,13	2,85±0,29	2,38±0,60	3,27±0,58	2,28±0,03
Бердский залив	27,46±20,49	44,42±18,38	38,92±16,34	15,30±12,01	10,33±4,08	7,43±2,40
В целом по водохранилищу	9,38±5,25	17,12±9,15	12,58±7,61	5,09±3,42	5,89±1,54	4,24±0,96

Вертикальное распределение фитопланктона по фотическим горизонтам во всех частях водохранилища, исключая Бердский залив, отличается неравномерностью. В верхней части в толще воды первое и второе места по численности занимают диатомовые и зеленые водоросли, третье – цианобактерии. В средней и нижней частях водохранилища доля цианобактерий по фотическим горизонтам возрастает, а зеленых и диатомовых снижается. В Бердском заливе при слабом течении и доминировании цианобактерий на поверхности воды отмечалось равномерное распределение фитопланктона с убыванием по глубине (рис. 6).

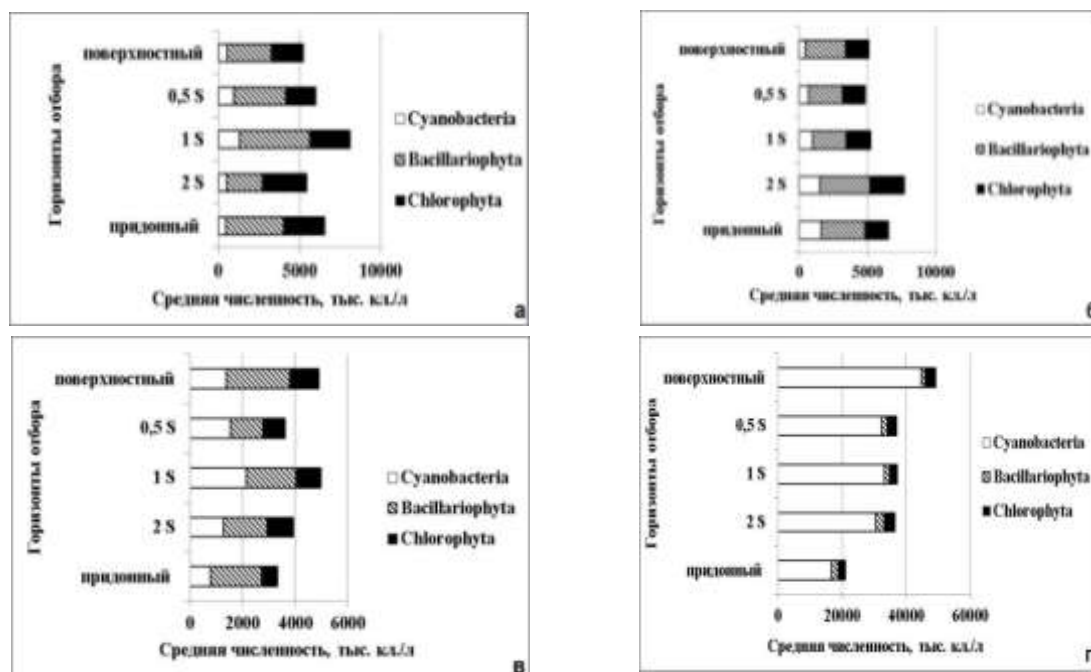


Рисунок 6 – Вертикальное распределение основных отделов летнего фитопланктона в разных частях Новосибирского водохранилища, 2016-2017 гг. а – верхняя, б – средняя, в – нижняя часть водоема, г – Бердский залив.

#### 4.5. Суточная динамика фитопланктона

В суточных пробах фитопланктона Бердского залива в открытой литорали и в зарослях макрофитов найдено 122 BBT из 7 отделов: Cyanobacteria – 11, Miozoa (Dinophyceae) – 4, Ochrophyta – 4, Euglenophyta – 10, Bacillariophyta – 17, Chlorophyta – 67 и Charophyta – 9. Видовое богатство фитопланктона (по данным 2015 г.) в зарастающей литорали (72 BBT) несколько выше, чем в открытой (70 BBT). По численности фитопланктона в открытой литорали и в зарослях макрофитов доминировали цианобактерии.

Численность фитопланктона как в открытой, так и в зарастающей литорали существенно изменялась в течение суток, причем в зарослях макрофитов отмечены более высокие показатели, чем в открытой литорали. В вечерние и ночные часы численность снижается и возрастает в светлое время суток до максимальных значений к 3 часам дня (рис. 7).

Указанные факты связаны с аккумулярующим действием высших водных растений, а также ветро-нагонными явлениями, прибивающими фитопланктон к берегу. Максимальные значения биомассы фитопланктона (по данным 2015 г.) в открытой и зарастающей литорали наблюдались в 3 часа дня, минимальные – в 6 часов утра в открытой литорали и в 9 утра в зарослях макрофитов, что в целом зависит от активности солнечной радиации и температуры воды в поверхностном слое (рис. 8).

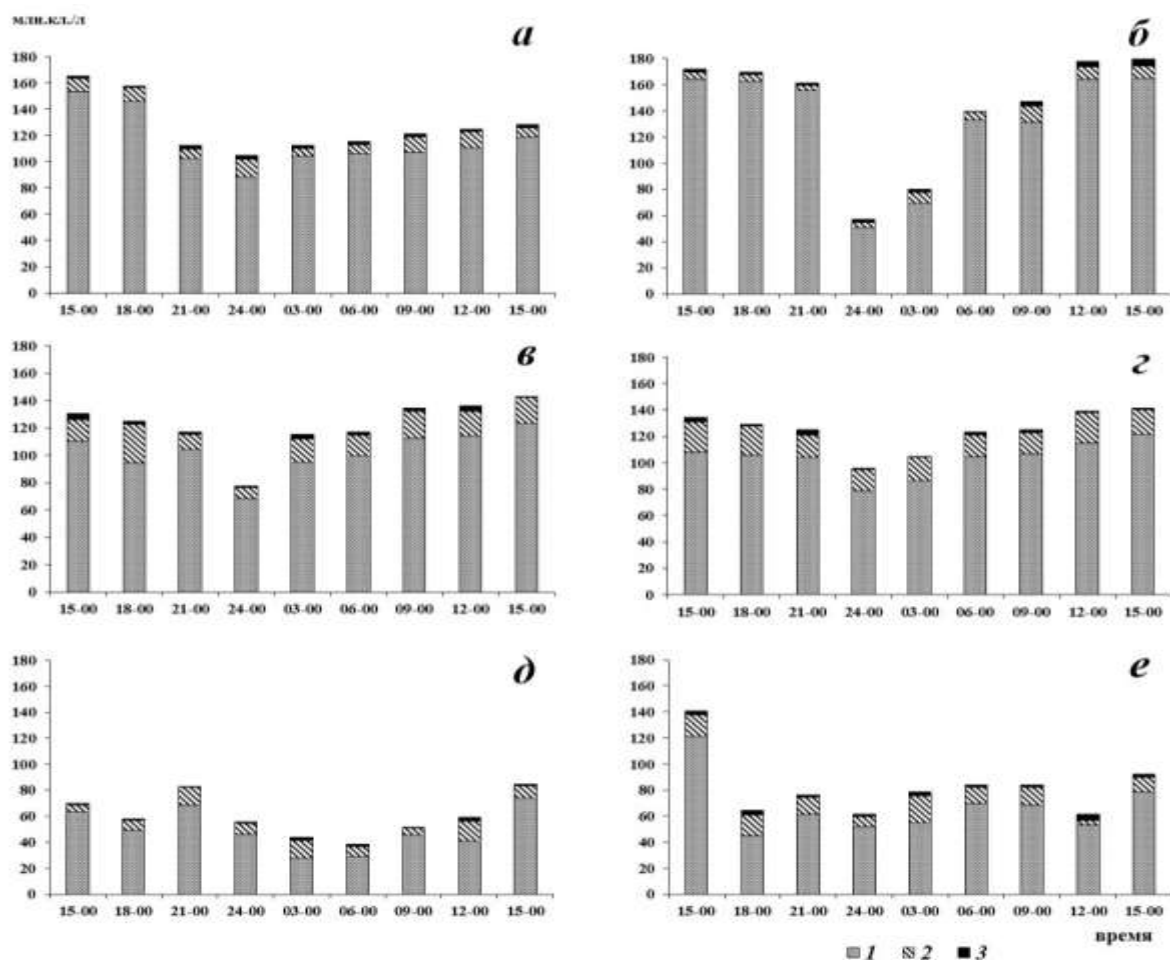


Рисунок 7 – Суточная динамика численности фитопланктона (млн кл./л) в открытой и заросшей литорали Новосибирского водохранилища в 2013–2015 гг.: *a*, *в*, *д* – открытая литораль, *б*, *г*, *е* – заросшая литораль; *a*, *б* – 2013 г., *в*, *г* – 2014 г., *д*, *е* – 2015 г.: 1 – Cyanoprokaryota, 2 – Chlorophyta, 3 – прочие.

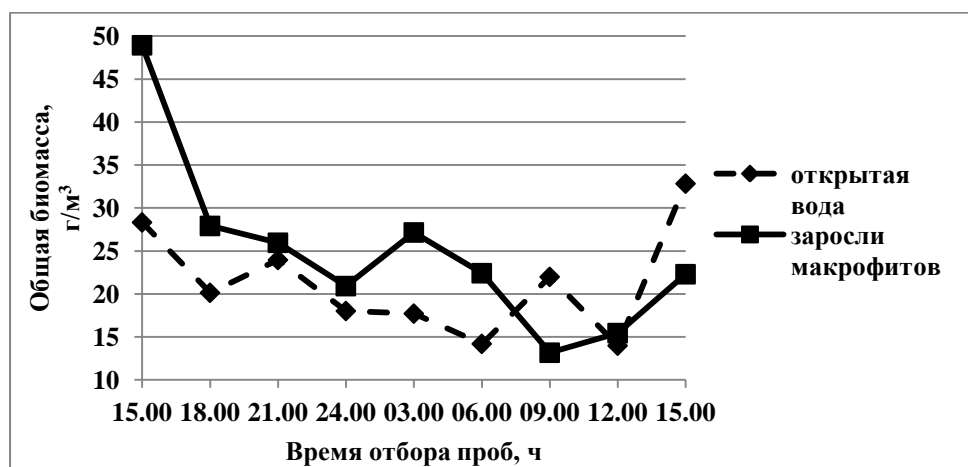


Рисунок 8 – Суточная динамика биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища (18-19 августа 2015 г.)

## Глава 5. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища

### 5.1. Сапробность воды

В фитопланктоне Новосибирского водохранилища найдено 204 вида-индикатора сапробности (69,86 % от общего числа найденных ВВТ), представителей широкого спектра зон сапробности – от ксеносапробной до поли- $\alpha$ -мезосапробной. Большинство видов-индикаторов (39,71 %) относятся к обитателям загрязненных и грязных вод ( $\beta$ ,  $\beta$ - $\alpha$ ,  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $p$ - $\alpha$ ), что говорит о высоком уровне загрязнения водохранилища органическими веществами. Значительная доля (36,27 %) широкоотолерантных видов (обитатели  $\chi$ - $\beta$ ,  $o$ - $\beta$ ,  $\beta$ - $o$ ,  $o$ - $\alpha$  зон) указывает на высокий потенциал самоочищающей способности водоема, что способствует устойчивости его экосистемы (Одум, 1986). Индикаторные виды чистых вод ( $\chi$ ,  $o$ ,  $\chi$ - $o$ ,  $o$ - $\chi$ ) находятся в меньшинстве (24,02 %). Индекс сапробности воды по Пантле и Букку в 2016–2018 гг. колебался в пределах 0,40–3,60, в среднем составляя  $1,94 \pm 0,01$ , что соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне.

### 5.2. Трофический статус водоема и качество воды

По показателям развития фитопланктона конца XX века Новосибирское водохранилище имело статус олиго-мезотрофного (в многоводные годы – олиготрофное, а в маловодные – мезотрофное) водоема (Куксн, Чайковская, 1985а). По нашим данным усредненные показатели биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища летом 2016–2018 гг. соответствуют статусу эвтрофного водоема. В среднем по водохранилищу качество воды летом 2016–2017 гг. соответствовало 4 классу «загрязненная» и разряду «умеренно загрязненная», в 2018 г. качество воды улучшилось до 3 класса «удовлетворительной чистоты» и разряда «слабозагрязненная» (табл. 2).

Прогнозы стабилизации темпов антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища, данные в конце XX века (Куксн, Чайковская, 1985а, Многолетняя динамика..., 2014) не оправдались. Возрастание антропогенной нагрузки в Обь-Иртышском бассейне (Современное состояние..., 2017) и изменения климата в регионе (Савкин, Двуреченская, 2014, 2017, 2018; Савкин и др., 2018) привели в XXI веке к возрастанию трофического статуса и изменению качества воды во всех частях водохранилища.

**Таблица 2 – Категория трофности и класс качества воды Новосибирского водохранилища, лето 2016-2018 гг.**

Части водохранилища	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Категория трофности	Класс качества воды
<b>2016 г.</b>			
Верхняя	0,91±0,06	мезотрофная	2 – чистая
Средняя	1,76±0,34	мезотрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Нижняя	2,38±0,60	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Бердский залив	15,30±12,01	политрофная	4 – загрязненная
В среднем по водохранилищу	5,09±3,42	эвтрофная	4 – загрязненная
<b>2017 г.</b>			
Верхняя	4,54±0,46	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Средняя	5,41±2,20	эвтрофная	4 – загрязненная
Нижняя	3,27±0,58	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Бердский залив	10,33±4,08	политрофная	4 – загрязненная
В среднем по водохранилищу	5,89±1,54	эвтрофная	4 – загрязненная
<b>2018 г.</b>			
Верхняя	3,53±0,64	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Средняя	3,73±1,00	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Нижняя	2,28±0,03	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты
Бердский залив	7,43±2,40	эвтрофная	4 – загрязненная
В среднем по водохранилищу	4,24±0,96	эвтрофная	3 – удовлетворительной чистоты

### **Заключение**

Исследование летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. позволило сделать следующие выводы:

1. В летнем фитопланктоне Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. идентифицировано 292 видовых и внутривидовых таксона (ВВТ) из 7 отделов, 12 классов, 30 порядков и 59 семейств. Ведущая роль в таксономической структуре фитопланктона водохранилища принадлежит отделам Bacillariophyta и Chlorophyta. Найдено 96 новых для водохранилища таксонов рангом ниже рода.

2. В доминирующий комплекс летнего фитопланктона водохранилища входит 21 вид, в том числе цианобактерии (11), диатомовые (4), зеленые (5) и харовые (1) водоросли. Возрастание количества видов-доминантов по сравнению с 1995 г. (с 11 до 21) свидетельствует об усилении процесса эвтрофирования. Высокие показатели индекса флористического сходства Чекановского-Серенсена доминирующего комплекса (0,46–0,67) свидетельствует о значительной однородности его состава по всей акватории водохранилища, исключая Бердский залив.

3. По отношению к солености воды и ее pH в составе фитопланктона преобладают индифференты и алкалифилы, по географической приуроченности – космополиты, по месту обитания – бентосные и планктонно-бентосные виды, в число которых входят представители всех отделов фитопланктона.

4. Межгодовая динамика численности и биомассы фитопланктона и распределение его обилия по продольной оси водохранилища имеет существенные различия, что характерно для водных объектов с высоким уровнем антропогенного эвтрофирования. Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона, вызванные «цветением» *Aphanizomenon flos-aquae*, отмечаются в Бердском заливе.

5. Вертикальное распределение летнего фитопланктона, исключая Бердский залив, характеризуется неравномерностью. В верхней части водохранилища на глубине 1S и 2S преобладают диатомовые и зеленые водоросли. В средней и нижней частях водоема их доля уменьшается, но возрастает у цианобактерий. В Бердском заливе наблюдается равномерное распределение водорослей и цианобактерий от поверхности ко дну.

6. Суточная динамика обилия летнего фитопланктона в открытой и заросшей литорали Бердского залива характеризуется падением показателей ночью и возрастанием днем, достигая своих максимальных отметок в 3 часа дня, а минимальных – в 6 часов утра. Видовое богатство и обилие фитопланктона в зарослях макрофитов более высокое, чем в открытой литорали.

7. По индексу сапробности Пантле и Букка Новосибирское водохранилище соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне и  $\beta$ -мезосапробному разряду ( $1,94 \pm 0,01$ ). Большинство видов-индикаторов (39,71 %) относятся к обитателям загрязненных и грязных вод. Значительная доля (36,27 %) широко толерантных видов указывает на высокий потенциал самоочищающей способности водоема.

8. Трофический статус Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона повысился от мезотрофной категории в конце 80-х годов XX века до эвтрофной в настоящее время. Средняя биомасса фитопланктона за летний сезон 2016–2018 гг. колебалась в пределах 4,24–5,89 г/м<sup>3</sup>.

9. Качество воды в Новосибирском водохранилище в 2016–2017 гг. соответствует 4 классу «загрязненная», в 2018 г. повышается до 3 класса «удовлетворительной чистоты». Качество воды в Бердском заливе соответствует 4 классу «загрязненная».

10. Современное экологическое состояние Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона по сравнению с предыдущим периодом его эксплуатации (80-е годы XX века) характеризуется ускорением процесса антропогенного эвтрофирования, последствиями которого являются увеличение его трофического статуса и снижение качества воды.



## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Влияние абиотических и трофических факторов на суточную горизонтальную миграцию зоопланктона в литоральной зоне водохранилища / Н. И. Ермолаева, Е. Ю. Зарубина, О. П. Баженова, С.Я. Двуреченская, **В. В. Михайлов** // Биология внутренних вод. – 2019. – № 4. – С. 50-59.

2. **Михайлов, В. В.** Оценка качества вод Новосибирского водохранилища по показателям развития фитопланктона, обилие и особенности его распределения [Электронный ресурс] / **В. В. Михайлов**, О. П. Баженова // Вестн. Оренбург. гос. пед. ун-та: электрон. науч. журн. – 2019. – № 1. – С. 11-21.– Режим доступа: [file:///C:/Users/User/Downloads/2\\_29\\_2019%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/2_29_2019%20(1).pdf). – (дата обращения 30.04.2019).

### Публикации в материалах конференций

1. **Михайлов, В. В.** Суточная динамика фитопланктона Новосибирского водохранилища / **В. В. Михайлов**, Н. И. Ермолаева, О. П. Баженова // Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития: сб. материалов науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию юбилею каф. экологии, природопользования и биологии. – Омск, 2016. – С. 186-192.

2. **Михайлов, В. В.** Летний фитопланктон Новосибирского водохранилища в 2016 году / В. В. Михайлов, А. В. Котовщиков, О. П. Баженова // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. III Всерос. науч. конф. с междунар. участием: в 4 т. – Барнаул, 2017. – Т. 1. – С. 150-154.

3. **Михайлов, В. В.** Динамика развития летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища в 2017 году / **В. В. Михайлов**, А. В. Котовщиков [Электронный ресурс] // Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов: сб. материалов I регион. (заоч.) науч.-практ. конф. молодых ученых и обучающихся, посвящ. 100-летию Ом. гос. аграр. ун-та. – Омск, 2018. – С. 426-430. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32373241>. – (дата обращения 28.04.2019).

4. **Михайлов, В. В.** Центрические диатомовые водоросли в планктоне Новосибирского водохранилища / **В. В. Михайлов** // Экологические чтения – 2018: Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию образования Ом. гос. аграр. ун-та им. П. А. Столыпина, 4-6 июня 2018 г. – Омск, 2018. – С. 204-207.