

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. П.А. СТОЛЫПИНА»

На правах рукописи

**Михайлов Вячеслав Владимирович**

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

03.02.08 – экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Научный руководитель:

доктор биологических наук,

профессор О.П. Баженова

Омск 2020

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. История изучения фитопланктона Новосибирского водохранилища (литературный обзор).....	8
Глава 2. Природно-климатические условия района Новосибирского водохранилища и его характеристика.....	23
Глава 3. Объекты и методы исследований.....	44
Глава 4. Летний фитопланктон Новосибирского водохранилища.....	50
4.1. Видовой состав и таксономическая структура фитопланктона.....	50
4.2. Эколо-географическая характеристика водорослей и цианобактерий .	61
4.3. Доминирующий комплекс фитопланктона.....	66
4.4. Распределение фитопланктона по акватории водохранилища и его межгодовая динамика .....	75
4.5. Суточная динамика фитопланктона.....	93
Глава 5. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища.....	99
5.1. Сапробность воды.....	99
5.2. Трофический статус водоема и качество воды.....	102
Заключение.....	107
Библиографический список.....	110
Приложения.....	135

## Введение

**Актуальность темы.** 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).

Для преодоления дефицита пресной воды и бесперебойного водоснабжения крупных городов и промышленных предприятий русла рек перекрывают дамбой и образуют водохранилища (Авакян и др., 1987). 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, помимо определения ее физико-химического состава, 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 (Баринова 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 исследований** – 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 лitorали, 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 лitorали, 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.

**Апробация работы.** Материалы исследований были представлены на I научно-практической конференции, посвященной 20-летнему 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. 19 – на иностранных языках.

**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.

**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 (г. Барнаул), канд. биол. наук В.В. Кириллову за организацию экспедиций на Новосибирское водохранилище, руководителю экспедиционного отряда канд. биол. наук, А.В. Котовщикову за помошь при отборе проб летнего фитопланктона, научному сотруднику А.В. Дьяченко за помошь при работе на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ).

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

Фитопланктон как первичный продуцент обладает высокой чувствительностью к изменениям среды, в том числе в результате антропогенного воздействия. Особенno важны исследования фитопланктона в крупных водоемах, где он является основным продуцентом органического вещества и важным фактором формирования качества воды. Фитопланктоценоз в целом быстро реагирует на различные изменения водной среды, что отражается, в первую очередь, в его структурных изменениях. Биоиндикация водных объектов по показателям развития фитопланктона, включая как структурные, так и количественные показатели (численность и биомасса), широко применяется в России и европейских странах (Руководство по..., 1992; Баринова и др., 2000; РД 52.24.309–2011, (2011); Р 52.24.763–2012, (2012); Commission Directive..., 2014).

Изучение фитопланктона Новосибирского водохранилища началось еще до его создания, когда была охарактеризована альгофлора участка р. Оби от г. Камень-на-Оби до г. Новосибирска и ее притоков, находившихся в зоне водосборного бассейна этой территории (Многолетняя динамика..., 2014). По данным Н.Д. Маминой (1940) таксономический состав участка от устья р. Бердь до г. Новосибирска включал 9 родов диатомей (*Asterionella* Hassall, *Surirella* Turpin, *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, *Melosira* C. Agardh, *Fragilaria* Lyngbye, *Nitzschia* Hassall, *Navicula* Bory, *Didymosphenia* M. Schmidt и *Gyrosigma* Hassall) и отличался низким уровнем видового богатства (Левадная, 1961)\*.

А.И. Якубова (1961), проведя летом 1949 г. исследование фитопланктона р. Обь на участке будущего водохранилища (г. Камень-на-Оби – г. Новосибирск), идентифицировала в нем 41 вид из 6 отделов: Cyanophyta – 4,

\* - здесь и далее по тексту названия отделов, родов, видовых и внутривидовых таксонов приведены в понимании авторов цитируемых работ. Chrysophyta – 2, Bacillariophyta – 15, Pyrrophyta – 2, Chlorophyta – 17 и Rhodophyta – 1. При этом он имел диатомово-хлорококковый характер, где доминировали диатомовые *Melosira granulata* var. *angustissima* (Ehrenberg) O. Müller, *Asterionella gracilluma* (Hantzsch) Heiberg, *Fragilaria* sp. и зеленые водоросли *Dictyosphaerium pulchellum* H.C. Wood, *Pediastrum duplex* Meyen и *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini. Видовое разнообразие при продвижении от г. Камень-на-Оби до Новосибирска существенно снижалось.

Летом 1956 г. в ходе проведения экспедиции Биологического института Западно-Сибирского филиала АН СССР Т.Г. Поповой было проведено повторное изучение состава альгофлоры этого же участка р. Обь, а также озер и рек будущего ложа Новосибирского водохранилища перед его заполнением.

В результате обработки, собранных в ходе экспедиции проб летнего фитопланктона, в нем было обнаружено (кроме нитчатых) 174 ВВТ (видовых и внутривидовых таксонов) из 6 отделов: Cyanophyta – 20, Pyrrophyta – 6, Euglenophyta – 12, Chrysophyta – 3, Bacillariophyta – 96 и Chlorophyta – 35.

Наиболее обильными видами в р. Обь и пойменных водоемах были цианобактерии *Anabaena* Bory ex Bornet et Flahault sp., *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet et Flahault, *A. flos-aquae* f. *klebahnii* Elenkin, *Anabaena lemmermannii* P.G. Richter, *Phormidium molle* (Kützing) Gomont и *Oscillatoria lacustris* (Klebahn) Geitler, эвгленовые (роды *Colacium* Ehrenberg, *Euglena* Ehrenberg, *Trachelomonas* Ehrenberg), диатомовые водоросли *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (=*Melosira granulata* var. *angustissima*), *Asterionella formosa* Hassall (=*Asterionella gracilluma*), *Cyclotella* sp., *Fragilaria* sp. и *Stephanodiscus* Ehrenberg sp.

Численность фитопланктона колебалась в пределах от 0,3 тыс. до 13 млн кл./л. Альгофлора пойменных водоемов также встречалась и в основном русле р. Обь, что не только повышало вероятность обнаружения ее видов в

водохранилище, но и увеличивало его биоразнообразие (Куксн, Левадная, 1963).

С момента создания Новосибирского водохранилища в период его заполнения (1957–1959 гг.) и в течение 4 первых лет эксплуатации (1960–1964 гг.) фитопланктон водоема активно изучался научными сотрудниками лаборатории низших растений Центрального Сибирского ботанического сада СО АН СССР в г. Новосибирске Кусн М.С., Левадной Г.Д., Солоневской А.В. и Удиловой Т.С. под руководством д.б.н. Т.Г. Поповой (Многолетняя динамика..., 2014). В пробах фитопланктона водохранилища за 1957–1959 гг. идентифицировано 262 ВВТ из 7 отделов: Cyanophyta – 25, Chrysophyta – 13, Bacillariophyta – 83, Xanthophyta – 4, Pyrrophyta – 9, Euglenophyta – 20 и Chlorophyta – 108 (Куксн, 1965б), среди которых обнаружены новые, ранее не встречавшиеся в СССР виды (Куксн, 1965а), а видовое богатство фитопланктона р. Оби после создания водохранилища по сравнению с 1956 г. увеличилось на 88 видов.

По исследованиям 1957–1964 гг. в доминирующий комплекс фитоплактона Новосибирского водохранилища на мелководных участках и открытой лitorали водоема и нижней части территории Академгородка входили: цианобактерии *Anabaena* sp. и *Aphanizomenon flos-aquae* (верхняя, средняя и нижняя части), *Anabaena scheremetievae* Elenkin (верхняя часть), *Lyngbya kuetzingii* (Kützing) Schmidle f. *kuetzingii* (нижняя часть), *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing и *Microcystis pulvereae* (H.C. Wood) Forti (средняя часть), *Lyngbya* C. Agardh ex Gomont sp. (верхняя часть), *L. foveolarum* (Gomont) Hansgirg (верхняя часть), *Oscillatoria woronichinii* Anissimova (средняя часть), динофитовые *Peridinium* Ehrenberg sp. (нижняя часть), эвгленовые *Trachelomonas volvocina* Ehrenberg (нижняя часть), диатомовые *Aulacoseira granulata* (верхняя, средняя и нижняя части), *Asterionella formosa* (нижняя часть) и *Asterionella* sp. (верхняя часть), *Cyclotella meneghiniana* Kützing (нижняя часть), *Cyclotella* sp. (верхняя, средняя и нижняя части), *Fragilaria crotonensis* Kitton (верхняя часть), *Fragilaria* sp. (верхняя часть),

*Melosira varians* C. Agardh (верхняя часть), *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith (верхняя, средняя и нижняя части), *Rivularia dura* Roth ex Bornet et Flahault (нижняя часть), *Surirella ovata* Kützing (верхняя часть), *Stephanodiscus astraea* (Kützing) Grunow (нижняя часть), *Stephanodiscus* sp. (верхняя, средняя и нижняя части), *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg (нижняя часть) и зеленые водоросли *Actinastrum hantzschii* Lagerheim (верхняя, средняя и нижняя части), *Chlamydomonas media* Klebs (нижняя часть), *Coelastrum microporum* Nägeli (верхняя и нижняя части), *Cladophora* Kützing sp. (верхняя часть), *Coelastrum sphaericum* Nägeli (нижняя часть), *Eudorina elegans* Ehrenberg (нижняя часть), *Dictyosphaerium pulchellum* и *D. pulchellum* var. *ovatum* Korschikov (верхняя часть), *Pandorina morum* (O.F. Müller) Bory (нижняя часть), *Phacotus lenticularis* (Ehrenberg) Diesing (нижняя часть), *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brébisson var. *quadricauda* (верхняя и средняя части). Численность фитопланктона в этот период колебалась в открытой лitorали в пределах 0,31–56,7 млн кл./л (летом на закрытых мелководьях – 0,2–182 млн кл./л), а биомасса 0,13–36,6 мг/л и 0,78–5,65 мг/л (летом на закрытых мелководьях). Максимального обилия он достигал летом, в открытой части за счет «цветения» цианобактерий в нижней части водохранилища и нагонных явлений, способствующих их скоплению у плотины, на мелководьях – за счет аналогичного «цветения» вследствие концентрации минеральных веществ в зарослях макрофитов и штиле. Минимальная его численность в верхней части водохранилища наблюдалась весной, а биомасса – зимой. По длине акватории Новосибирского водохранилища наблюдалась неоднородность развития фитопланктона, где в его речной части развиты диатомовые водоросли, которые при приближении к плотине в нижней его части вытесняются цианобактериями. Альгофлора пойм водоема имела более высокий видовой состав, чем ее русловая, часть, но в процессе уравновешивания уровня воды и роста макрофитов, отмечалась обратная картина. Неоднородность фитопланктона по ширине объясняется различными микробиологическими процессами, происходящими над

участками залитой поймы. В летний период на входном створе (г. Камень-на-Оби) фитопланктон Оби составляют диатомовые водоросли, второе место занимают зеленые. На всех остальных створах с января по июнь доминируют диатомовые, которые в июне–августе сменяются цианобактериями, которые с сентября уступают лидирующее место диатомовым. Зеленые водоросли занимают третье место. Вследствие увеличения обилия фитопланктона у плотины ГЭС максимальный среднегодовой сток фитопланктона наблюдался в 1963 г., где его наибольшее значение отмечено в августе. При сравнении стоков на входящем створе и нижнего бьефа, установлено, что водохранилище является источником продуцирования водорослей и цианобактерий. Весной (май) для фитопланктона водохранилища характерна отрицательная фотосинтетическая активность (поглощение кислорода на дыхание), которая в июне становится положительной, достигая максимальных значений (выделение кислорода при фотосинтезе), в июле–августе в нижней части водоема происходит ее снижение из-за развития цианобактерий. В сентябре–октябре при уменьшении обилия водорослей и цианобактерий и понижения температуры воды положительная фотосинтетическая активность сменяется отрицательной. Общая численность фитопланктона в нижней части водохранилища, прилегающей к Академгородку с 1958 по 1961 гг. постепенно уменьшалась, а в период 1961–1964 гг. достигала максимальных значений, колеблясь в зависимости от сезонов года. Участок Академгородка по численности водорослей и цианопрокариот очень сведен с приплотинной частью водоема, но отличается по ней в Бердском заливе в 4–5 раз (Биологический режим..., 1958; Куксн, 1958, 1961а, б; Попова, 1961; Левадная, 1964; Солоневская, 1964, 1965, 1966, 1970а; Чайковская, 1970).

В 1963 г. другими доминирующими видами, обитающими в планктоне и найденными в обрастаниях в верхней (г. Камень-на-Оби) и средней (пос. Ордынское) частях водохранилища, были цианобактерии *Anabaena oscillarioides* (Lemmermann) f. *tenuis* Elenkin, *Calothrix elenkinii* Kossinskaja,

диатомовые *Epithemia sorex* Kützing и *Gomphonema olivaceum* (Hornemann) Brébisson (Определитель пресноводных..., 1951, Голлербах и др., 1953; Солоневская, 1970б).

На вертикальное распределение фитопланктона летом в нижней озеровидной части водоема при сильном волнении оказывает влияние ветроволновой режим, а в безветренную погоду – свойства доминирующего комплекса (цианобактерии и жгутиковые концентрируются на поверхности, диатомовые и зеленые – распространены равномерно по всей толще воды). В верхней и средней частях, помимо ветрового волнения, распределение в толще воды зависит от скорости ее течения. В результате в речной части фитопланктон распространен более или менее равномерно по всем фотическим горизонтам, а в озеровидном большая его часть сосредоточена в поверхностном слое воды, но может и нарушаться в условиях штормовой погоды. В Новосибирском водохранилище диатомовые водоросли обнаружены по всем фотическим горизонтам, а для цианобактерий и зеленых такая закономерность отмечается на мелководных зонах водохранилища. После создания водохранилища летом создаются благоприятные условия для развития цианобактерий, максимальное обилие которых увеличивает нагрузку на фильтровальные станции городских водопроводов нижнего бьефа Новосибирской ГЭС (Солоневская, 1961; Куксн, 1964; Куксн, 1965б).

Т. С. Удиловой в 1963 г. в связи с водоснабжением г. Бердска было проведено подробное изучение фитопланктона Бердского залива. На этом участке водохранилища в 1963 г. было обнаружено 63 ВВТ из 6 отделов в том числе: Cyanophyta – 10, Chrysophyta – 2, Bacillariophyta – 13, Pyrrophyta – 2, Euglenophyta – 4 и Chlorophyta – 32. Доминирующими видами являлись цианобактерии *Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae* и *Anabaena lemmermannii*, пирофитовая *Peridinium* sp., диатомовая *Fragilaria crotonensis* и зеленая *Phacotus lenticularis* водоросли. Численность колебалась от 0,2 до 14,0 млн кл./л, а биомасса была в пределах 1,82–44,55 мг/л. Максимальное обилие фитопланктона достигалось летом в период «цветения»

цианобактерий. Минимальная его численность наблюдалась осенью и была связана с неблагоприятными погодными условиями, а минимальная биомасса отмечалась в августе вследствие увеличения численности его мелкоклеточных форм.

Вертикальное распределение фитопланктона характеризовалось неравномерностью: цианобактерии, пирофитовые и зеленые (жгутиковые) располагались от поверхности до глубины 3–4 м, а диатомовые и зеленые (хлорококковые) были распространены по всей толще воды от поверхности до дна. С 1960 по 1963 гг. вследствие внутриводных процессов в Бердском заливе изменился состав его алгофлоры: доминировавшие большую часть года (как и в самом водохранилище) диатомовые водоросли сменились на цианобактерии и динофлагелляты, но их обилие не вызывало цветения воды, а численность фитопланктона была в 5 раз меньше по сравнению с водохранилищем, что позволяло рассматривать эту часть водохранилища как отдельный водоем со своими гидрохимическими особенностями. Обилие фитопланктона, продуцируемого в течение года в заливе, не вызывало нарушений в работе очистных сооружений, а вода, прошедшая отчистку и обработку с применением хлорирования, была признана пригодной для хозяйствственно-питьевых нужд (Удилова, 1965).

М.С. Куксн с 1957–1963 гг. исследовала периодичность развития цианобактерий по акватории водоема и установила связь между их массовым развитием, неоднородностью их распространения и гидрологическим режимом. Первое место по интенсивности развития цианобактерий занимают заливы и защищенные островами мелководные участки вследствие их слабого или отсутствующего в них течения воды, вызывая длительное по времени «цветение» в летнее время. За ними следуют открытые левобережные надпойменные участки нижней части водохранилища со слабым течением, в которых благодаря вытянутости водоема и преимущественно юго-западным и северо-восточным ветрам летом создаются волнения, препятствующее развитию длительного «цветения»

воды. В русловой части в верхней зоне водоема благодаря высокой скорости течения и ветрового перемешивания развития цианобактерий не отмечается, кроме нижней части озеровидного расширения, где они имеют малую численность. Повышенная их концетрация у плотины Новосибирской ГЭС связана с ее аккумулирующим действием и нагонно-ветровым явлениям. Многоводность года, холодное и дождливое лето снижает развитие цианобактерий, маловодное и жаркое наоборот создает условия для массового «цветения» воды водохранилища (Куксн, 1973).

С 1968 по 1987 гг. на водохранилище проводились дальнейшие исследования фитопланктона, его таксономического состава и особенностей межгодовой динамики и определения качества воды (Многолетняя динамика..., 2014).

Развитие фитопланктона в 1968 г. сопровождалось массовым «цветением» в средней и нижней частях водоема цианобактериями *Anabaena flos-aquae* (Lyngbye) Brébisson f. *flos-aquae* и *Aphanizomenon flos-aquae* (субдоминант), а также *Microcystis aeruginosa* (на левобережный мелководный участок нижней части), причинами которого явились сочетание маловодного 1967 г. и понижения уровня воды на 0,5 м. По берегам нижней зоны водоема также отмечались полоски цианобактерий вследствие их нагона с открытых частей. Численность фитопланктона колебалась в пределах 250–345 млн кл./л, биомасса – от 26,3–440 мг/л (Куксн, 1973).

Летом 1970 г. в фитопланктоне нижней части водохранилища (Ленинское–Береговое и Приплотинный створ) доминировали *Aphanizomenon flos-aquae* и *Aulacoseira granulata*, в Бердском заливе – *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* и *Aulacoseira granulata*. Из-за прохладного лета его биоразнообразие было невысоким. Колебания численности составляли 2,73–6 млн кл/л, а биомасса – 1,2–2,4 мг/л, максимальная численность отмечалась Бердском заливе, но по сравнению с 1963 г. она уменьшилась в 2 раза. На приплотинном участке регистрировалось неравномерное распределение численности цианобактерий за счет их опускания, а

незначительное уменьшение биомассы на русловых станциях Приплотинного и Ленинского разрезов, по сравнению с пойменными, объясняется равномерным распространением диатомовых водорослей по всей толще воды. Первые 9 лет существования водохранилища характеризовалось активным развитием фитопланктона за счет повышенного содержания биогенных элементов с затопленных пойм, далее в течение 3 лет происходила стабилизация его трофического уровня, нарушаемая колебаниями обилия водорослей и цианобактерий в условиях маловодного и жаркого лета (Этапы становления..., 1973, Левадная, 1976).

Летний фитопланктон 1975 г. предплотинной части Новосибирского водохранилища был сформирован цианобактериями, диатомовыми и зелеными водорослями. Доминирующими видами являлись *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievae* и *Aulacoseira granulata*. В середине июля интенсивно развивались зеленые водоросли *Scenedesmus quadricauda* var. *quadricauda*, *Ankistrodesmus arcuatus* Korschikov и *Coelastrum microporum*. С июля по сентябрь численность фитопланктона колебалась в пределах 0,03–3,67 млн кл./л, достигая максимального значения в июле из-за развития цианобактерий, а минимального – в сентябре вследствие их выпадения и сокращения численности *Aulacoseira granulata*, которые опускались на дно для зимовки. В левобережной более мелководной части предплотинного участка концентрация фитопланктона в 2–4 раза меньше, чем на правобережье (Левадная, Шушуева, 1980). 91

С 1975 по 1987 гг. изучался фитопланктон открытой литорали средней части водохранилища (пос. Ордынское), который большую часть сезона имел диатомовый характер, кроме летне-осеннего периода, когда активно вегетируют цианобактерии и зеленые водоросли. Индекс видового разнообразия высокий – 4,4, а биомасса имеет значения от 0,139 до 0,908 мг/л. В Ордынском заливе летом доминируют цианобактерии, а все остальное время – диатомовые водоросли, а биомасса колеблется в пределах 11,8–19,8 мг/л. Индекс сапробности Пантле и Букка – 1,70–2,09. По уровню

трофности открытая литораль соответствует олиготрофному, залив – эвтрофному (Подлипский и др., 1989).

Для фитопланктона 1981–1982 гг. исследования характерно доминирование *Aphanizomenon flos-aquae* в нижней части водохранилища и в Бердском заливе в августе–сентябре, все остальное время по акватории водоема преобладают *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella kuetzingiana* Thwaites (= *Pantocsekiella kuetzingiana* (Thwaites) K.T. Kiss et E. Ács), *Stephanodiscus astraea* и *Stephanodiscus hantzschii* Grunow. Его биомасса составляет 0,06–136,86 мг/л и достигает наибольших значений в летний период правобережье Быстровского разреза в нижней части водохранилища, а наименьшая – весной. Весной фитопланктон по всей акватории водоема однороден. У входного створа (г. Камень-на-Оби) максимальная биомасса наблюдается осенью за счет диатомовых, в озерной летом вследствие развития цианобактерий. Колебания индекса видового разнообразия 0,03–5,98, где его максимальные значения отмечаются в речной части, а минимальные в озеровидной частях, что объясняется доминированием 1–2 видов, и только в июне они уравновешиваются между собой. По величине индекса сапробности воды Новосибирского водохранилища относятся к  $\beta$ -мезосапробной зоне, а качество воды по фитопланкtonу как олигомезотрофные, удовлетворительной частоты. Для нижней озеровидной части характерна начальная стадия эвтрофирования, которая имеет локальный характер (Куксн, Чайковская, 1985б).

При изучении межгодовых колебаний видового состава и биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища с момента его создания и 23 лет эксплуатации (1957–1982 гг.) М. С. Куксн и Т. С. Чайковской в 1985 г. были установлены следующие закономерности:

1. Видовой состав фитопланктона со времени его образования не изменился, а его незначительные колебания зависят от сезона года.

2. Фитопланктон речной части (без заливов) по обилию и доминирующим видам соответствует основным чертам фитопланктона реки Оби (носит диатомовый характер).

3. Фитопланктон озерной части водохранилища в мае имеет речной характер, а летом озерный, при котором его обилие возрастает и изменяется доминирующий комплекс видов (диатомовых водорослей на цианобактерии). Максимальная летняя биомасса колебалась в широких пределах (10–136 мг/л), основную долю которой составляли цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievae* и *Microcystis aeruginosa* и диатомовая водоросль *Aulacoseira granulata*.

4. В водохранилище периодически наблюдается «цветение» воды цианобактериями, которое локально в заливах (Бердский) и на мелководьях вдоль левобережья нижней части водоема переходит на открытые участки озеровидного расширения, которое ограничивают гидрологические факторы (высокие скорость течения и водообмена, ветроволновое перемешивание воды, уровненный режим) и метеорологические условия (температура, осадки, влажность).

5. С 1968 по 1982 гг. происходит медленное эвтрофирование мелководных пойменных участков нижней зоны водохранилища. С 1961 по 1981 гг. эвтрофирования открытых частей водоема не наблюдается, но при неблагоприятных условиях возможно более интенсивное и продолжительное «цветение» воды в его нижней зоне, способное создать нагрузку на сложившуюся в водохранилище экосистему.

6. Вода по индексу сапробности Пантле и Букку соответствовала умеренно-чистым, а по индексу видового разнообразия относилась к олиго-мезосапробному типу (Куксн, Чайковская, 1985а).

С 1969 по 2014 гг. происходит изучение видового состава фитопланктона водохранилища, результатом которых стало обнаружение новых видов, часть из которых ранее не встречалась в СССР и России (Левадная, 1970, 1972; Скабичевский, 1974а; Скабичевский, 1975; Левадная,

1978; Науменко, 1993а, б, в; Lange-Bertalot, 1993; Науменко, 1995, 1996; Науменко, Нечаева, 2000; Lange-Bertalot, 2001; Многолетняя динамика..., 2014).

По сводкам Т.А. Сафоновой, М.С. Куксн и других авторов, в фитопланктоне Новосибирского водохранилища за 1960–1972 гг. было идентифицировано 444 ВВТ из 8 отделов: Cyanophyta – 36, Cryptophyta – 1, Pyrrophyta – 4, Chrysophyta – 11, Bacillariophyta – 218, Xanthophyta – 4, Euglenophyta – 12 и Chlorophyta – 147 (Водоросли Оби..., 1972; Сафонова, 1984; Многолетняя динамика..., 2014).

По данным отбора проб фитопланктона в Новосибирском водохранилище за 1978–1989 гг. Ю.В. Науменко выявлено 283 ВВТ из 8 отделов: Cyanophyta – 30, Chrysophyta – 12, Bacillariophyta – 95, Xanthophyta – 5, Cryptophyta – 1, Dinophyta – 8, Euglenophyta – 21 и Chlorophyta – 111 (Науменко, 1995, 1996; Многолетняя динамика..., 2014).

Фитопланктон 1991–1993 гг. в летний период характеризовался доминированием диатомовых водорослей в верхней и средней зонах водохранилища и цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae* в его нижней озеровидной части. Такая закономерность сохранялась и в осенний период, где в качестве доминанта выступает диатомея *Stephanodiscus astraea*. Обильное «цветение» воды наблюдалось в июле–августе в устье Бердского залива. Численность фитопланктона колебалась в пределах 0,02–182 млн кл./л, достигая своего максимального значения летом при «цветении» воды и минимального – зимой, а биомасса имела значения от 0,02 до 5 мг/л (Мониторинг качества..., 1995).

В 1991 г. и ранее (Разработка гидрохимических..., 1989) при проведении химического анализа воды было выявлено загрязнение органическими веществами Бердского залива, что способствовало развитию в осеннем и зимнем фитопланктоне зеленых и диатомовых водорослей, максимальное обилие которых составляло 6,5 млн кл./л и 5 мг/л. В течение 10 лет (1981–1991 гг.) в Бердском заливе вследствие загрязнения его

органическими веществами летом доминировали цианобактерии, а все остальное время – зеленые водоросли (Анализ экологического..., 1992; Мониторинг качества..., 1995; Экологическое состояние..., 2000; Многолетняя динамика..., 2014).

С 1993 по 1998 гг. Ю.В. Науменко и Н.С. Нечаевой активно изучался зимний фитопланктон Новосибирского водохранилища. В нем был идентифицирован 101 ВВТ из 5 отделов: Cyanophyta – 6, Chrysophyta – 1, Dinophyta – 2, Bacillariophyta – 58, Chlorophyta – 34. Доминирующими видами были диатомовые водоросли *Stephanodiscus hantzschii* и виды рода *Aulacoseira* Thwaites. Второе и третье место по биоразнообразию занимали зеленые водоросли и цианобактерии. Виды, встреченные в зимний период, активно вегетируют и в период открытой воды. Минимальное обилие фитопланктона отмечено в феврале–марте (Науменко, Нечаева, 2000).

В период с 2008 по 2009 гг. изучалась биоконцентрация фитопланктоном микроэлементов из поверхностных вод Новосибирского водохранилища (Леонова и др., 2010), а также реакция водорослей и цианобактерий на загрязнение цинка, меди, свинца и кадмия (что актуально для нижней озеровидной части и Бердского залива). В результате исследований установлено, что видовой состав фитопланктона из микроэкосистемы, существовавшей в водохранилище, при загрязнении этими металлами полностью изменился и сформировался новый. В нем доминировали уже другие виды водорослей, ранее не вносившие особо вклада в его обилие и были устойчивы к повторному загрязнению. При этом происходит увеличение концентрации тяжелых металлов в донных отложениях благодаря росту численности фитопланктона и его повышенной биосорбции металлов (Смоляков и др., 2010; Романов, Смоляков, 2013).

С 2007 г. характеристика фитопланктона Новосибирского водохранилища проводилась по содержанию хлорофилла «а», концентрация которого близка к прямой зависимости от биомассы (Михеева, Щур, 2012) и материалам, полученным при обработке данных со спутников

дистанционного зондирования. При обследовании водоема в 2007–2015 гг. содержание хлорофилла «а» колебалось в широких пределах 1–46,6 мг/м<sup>3</sup>. По его усредненным данным вода в водохранилище соответствовала эвтрофному, в средней части – мезотрофному, в Бердском заливе – политрофному (высокоэвтрофному) типу. Трофический статус залива с 1981 по 2007 гг. не изменился. Качество вод по акватории по содержанию хлорофилла «а» в 2007–2008 гг. в целом соответствовало классам «чистая» и «удовлетворительной чистоты», а в Бердском заливе – классу «загрязненная». При продвижении по акватории водохранилища отмечается неоднородность в распределении фитопланктона: увеличение концентрации хлорофилла «а» на входном створе (г. Камень-на-Оби), ее уменьшение в средней (пос. Ордынское) и повышение у плотины в нижней части водоема, достигая в летний период максимального значения в Бердском заливе. Минимальное обилие фитопланктона в средней части водохранилища объясняется ослаблением течения, при котором речные виды выпадают, а озерные еще не успевают сформироваться. По данным спутника летом на створе Ленинское–Сосновка в нижней части водоема концентрация фитопланктона возрастила, достигая максимальных значений и к осени уменьшалась, формируя второй весенний максимум вследствие высокой концентрации органических веществ, аккумулированных в зимний период. Летний максимум, отмечаемый на правобережье на данном участке водохранилища, связан с расположением русла р. Обь и поступлению биогенных веществ с ее течением, а также с преобладанием западных ветров, перемещающих активно вегетирующие цианобактерии и другие водоросли к правому берегу. Заливы, верхняя и нижняя части водохранилища отличались наибольшей продуктивностью. В период открытой воды в верхней и средней частях водоема концентрация хлорофилла «а» увеличивалась от поверхности к придонному слою, а в нижней зоне ближе к приплотинному участку она распространялась равномерно в толще воды, что связано с активным водообменом и перемещением фитопланктона при снижении уровня воды в

маловодные годы. Среди факторов, влияющих на формирование экосистемы Новосибирского водохранилища, выявлены: неравномерность стока р. Оби в течение года или гидрологические условия самого сезона и режим эксплуатации ГЭС (в сезонном и годовом значении), а также морфометрические отличия частей водохранилища (верхней, средней и нижней) (Куксн, 1965б; Кириллова, Котовщиков, 2009; Компьютерное моделирование..., 2009; Информационные аспекты..., 2012; Исследование пространственного..., 2012; Сравнительные оценки..., 2012; Котовщиков, 2012; Котовщиков, Яныгина, 2018).

Таким образом, изучение фитопланктона Новосибирского водохранилища, его видового состава и обилия (численности и биомассы) особенно активно шло с момента его создания (1957–1959 гг.) и в первые десятилетия существования. Видовое богатство альгофлоры водоема, включая фитопланктон и фитобентос, было высоким и включало 444 ВВТ из 8 отделов: Cyanophyta – 36, Cryptophyta – 1, Pyrrrophyta – 4, Chrysophyta – 11, Bacillariophyta – 218, Xanthophyta – 4, Euglenophyta – 12 и Chlorophyta – 147. Необходимо учесть, что к настоящему времени систематика водорослей кардинально изменилась, в том числе многие виды и разновидности были включены в синонимы, что неизбежно привело к сокращению таксономического списка.

В настоящее время возникли также новые факторы воздействия на фитопланктоценоз, среди них основное значение имеют глобальное потепление климата и изменение характера антропогенной деятельности в бассейне верхнего течения Оби (Многолетняя динамика..., 2014).

Исходя из вышесказанного, возникла необходимость в изучении текущего состояния фитопланктона и составления таксономического списка с позиций современной систематики.

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

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

С целью обеспечения энергетической независимости и удовлетворения энергетических потребностей г. Новосибирска с 1953 по 1956 гг. началось строительство Новосибирского водохранилища. Новосибирское водохранилище было образовано 4 ноября 1956 г. путем перекрытия русла р. Обь плотиной выше г. Новосибирска, его заполнение до нормального подпорного уровня (НПУ) завершилось в 1959 г. В настоящее время водохранилище используются для питьевого водоснабжения населения г. Новосибирска, в меньшей степени служит для нужд рыбного производства, энергетики и рекреационной деятельности (Гидрометеорологический режим..., 1979; Савкин, Двуреченская, 2010; Многолетняя динамика..., 2014).

Новосибирское водохранилище – искусственный водоем в бассейне р. Оби долинного типа линейно-вытянутой формы (рис. 2.1). 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. Граница подпора при НПУ – г. Камень-на-Оби. Площадь водосбора Новосибирского водохранилища 232 000 км<sup>2</sup>. Территория вокруг водоема представлена обычными и южными черноземами, серыми лесными и осоледелыми почвами, на которых растут сосновые боры, береза, осина и лиственница. Грунтовые и подземные воды

расположены близко к поверхности. Бассейн водохранилища включает 19 правых и левых притоков. Самым крупным из них является р. Бердь, затопление устья которой создало Бердский залив. Также образовались заливы и в устьях других рек – Сосновка, Мильтюш, Караган и Орда (Бейром и др., 1973; Гидрометеорологический режим..., 1979; Подлипский, 1985; Савкин, Двуреченская, 2010; Атавин и др., 2014).



Рисунок 2.1 – Карта-схема Новосибирского водохранилища  
(Многолетняя динамика..., 2014)

Акватория водохранилища состоит из трех частей (верхней, средней и нижней). Верхний участок водоема (г. Камень-на-Оби – с. Усть-Алеус) имеет длину 35 км и представляет собой затопленную пойму р. Оби, которая образует обширное мелководье со множеством мелких и крупных островов, пологими берегами, где глубины не превышают 4–6 м. Скорость течения реки 1,5–2,0 м/с. Средний участок водохранилища (с. Усть-Алеус – с. Завьялово) суженный и длиннее, чем нижний озеровидный. Его ширина в среднем составляет 4 км. На крутых берегах произрастают сосновые боры, а по левобережью отмечаются мелкие плоские острова – возвышенные участки затопленной II надпойменной террасы Оби. Нижний озеровидный участок (с. Завьялово – плотина ГЭС) вытянут с юго-запада на северо-восток, где регистрируется наибольшая глубина водохранилища, которая у плотины

достигает значения в 25 м над затопленным руслом Оби. Его длина составляет 65, а ширина – 22 км. Скорость течения реки 0,03–0,08 м/с. Для участка характерно развитие ветро-нагонных явлений (Бейром и др., 1973; Гидрометеорологический режим..., 1979).

Гидрологические особенности Новосибирского водохранилища характеризуются его уровневым режимом, водообменом, скоростью течения, ледотермическим режимом и абразией берегов (Многолетняя динамика..., 2014).

Регулирование уровненного режима Новосибирского водохранилища включает в себя три фазы: повышение уровня воды во время половодья весной; поддерживание уровня воды на отметке начального подпорного уровня летом; понижение уровня воды при сработке осенью и зимой (Гидрометеорологический режим..., 1979; Водохозяйственные и экологические..., 1997; Экологическое состояние..., 2000; Управление состоянием..., 2009; Савкин, Двуреченская, 2011, 2014, 2015).

Наполнение водохранилища в весенний период (апрель–июнь) происходит за счет паводковых вод р. Обь (95% стока) и ее притоков (5% стока) до отметки нормального подпорного и форсированного уровней. В течение летнего периода (июль–август), включая и осенние (сентябрь) высота воды водоема соответствует нормальному подпорному уровню с незначительными его колебаниями до 0,2–0,5 м и зависит от работы самой НГЭС, зависящей от водности сезонов года и колебаний водной поверхности на нижнем бьефе. В осенне–зимнюю межень (октябрь–март) из водохранилища срабатывают воду до уровня мертвого моря. (Гидротермический режим..., 1979, Обременко, Подлипский, 1980; Подлипский, 1985; Определение фенолов..., 1995; Водохозяйственные и экологические..., 1997; Тарасенко и др., 1998; Савкин, 2000; Экологическое состояние..., 2000; Савкин, Двуреченская, 2010, 2011, 2014; Двуреченская и др., 2012; Савкин, Двуреченская, 2015).

По классификации М.А. Фортунатова (1974), Новосибирское водохранилище относится к водоемам с высокой степенью водообмена (среднемноголетний коэффициент обмена вод 6,64) вследствие его высокой проточности из-за небольшого полезного обмена, при этом наибольшие коэффициенты наблюдаются весной и летом, а наименьшие – осенью и зимой. В целом за 52 года эксплуатации водоема отмечается снижение водности за год и в его различные сезоны, особенно в весенний и летний периоды, что подтверждают значения коэффициентов водообмена. Это влияет на качество воды в водохранилище (Обременко, Подлипский, 1980; Подлипский, 1985; Савкин, 2000, Экологическое состояние..., 2000; Динамика гидролого-гидрохимических..., 2001; Формирование гидролого-гидрохимического..., 2003; Савкин, Двуреченская, 2010; Савкин, 2012; Двуреченская и др., 2012; Савкин, Двуреченская, 2014; Атавин и др., 2014).

Течения в Новосибирском водохранилище в зависимости от времени года и уровня водоема имеют различные скорости в разных частях водоема, сочетая следующие его типы: стоковое (проточное), дрейфовое и компенсационное (прямое и обратное) (Гидрологический режим..., 1979; Обременко, Подлипский, 1980; Подлипский, 1985; Савкин, 2000).

Скорость стокового течения начала зоны выклинивания подпора (г. Камень-на-Оби) к плотине НГЭС снижается от 1,5 до 0,1 м/с и колеблется от 1,5–0,3 м/с (при весеннем наполнении) и до 0,1–0,2 м/с (при зимней сработке водохранилища) (Подлипский, 1985; Савкин, 2000).

В средней и нижней частях водохранилища развиваются дрейфовые течения, связанные с формированием волн высотой 0,4–3,5 м под действием ветра, скорость которого достигает 5–30 м/с, а скорость самих течений колеблется от 0,20 до 0,30 м/с. Ветровое волнение создает сгонно-нагонные явления, образующие перекосы уровня воды, и компенсационные течения, скорости которых составляют 0,1–0,3 м/с – на поверхности и 0,05–0,10 м/с – в придонных слоях. Наибольшее значение стоковое течение приобретает в основном русле Оби, на затопленных берегах ее поймы – дрейфовые и

компенсационные, а при приближении к плотине их влияние возрастает (Гидрологический режим..., 1979; Обременко, Подлипский, 1980; Савкин, 2000).

В начале весны (третья декада марта – первая декада апреля) происходит увеличение солнечной радиации и таяние снега на поверхности водохранилища. Ледовый покров начинает разрушаться при воздействии ветра с образования закраин и промоин, которые, пропитываясь водой, взламывается, формируя заторы, повышая уровень воды в водоеме. В течение апреля–мая отколотые куски льда, продвигаясь вместе с паводковыми водами по акватории водохранилища, очищают его от льда. В апреле в верховье водохранилища благодаря более интенсивному теплообмену водой и воздухом отмечается интенсивный прогрев воды до 15–18 °C. Со второй декады апреля по август от верхней к нижней части водохранилища начинает подниматься температура его поверхности до 23–29 °C, а в августе–сентябре наблюдается процесс охлаждения воды, температура ее снижается до 4 °C. При понижении температуры воды до нуля и ниже во второй декаде октября–первой декаде ноября появляется первый лед в форме заберегов и сала в верхней части водохранилища и на его мелководных участках. В конце ноября водохранилище равномерно замерзает по всей акватории, в нижней части отмечаются забереги, сало и шуга. Ледостав на водохранилище длится от 78 до 150 суток, а продолжительность ледохода составляет от 1 до 34 суток. После образования Новосибирского водохранилища по сравнению с рекой Обь отмечается уменьшение толщины льда, сдвигание сроков ледостава и ледохода и изменение его интенсивности весной и осенью, неравномерное замерзание поверхности воды (Гидрометеорологический режим..., 1979; Подлипский, 1985; Савкин, 2000; Атавин и др., 2014; Многолетняя динамика..., 2014).

На разрушение берегов реки Обь до образования Новосибирского водохранилища оказывали влияние паводковые воды и физические факторы, вызывающие выветривание горных пород. В чахе водоема по характеру и

условиям рельефообразования при абразии береговых склонов выделяют три зоны: преимущественно флювиального и волнового морфогенеза и переходную между ними (Гидрометеорологический режим..., 1979; Берега морей..., 1999; Савкин, 2000; Управление состоянием..., 2009; Хабидов и др., 2010, 2011; Влияние абразии..., 2011).

Область преимущественно флювиального морфогенеза расположена в верхней и средней (пос. Чингис) части водохранилища (г. Камень-на-Оби) и продолжается вдоль водоема на 60–65 км, где основную роль в образовании рельефа и накоплении осадков играют проточные (стоковые) течения скоростью 0,7–2,0 м/с и высотой волны 0,3–0,7 м. В ней наблюдается оврагообразование и подтопление и происходит формирование аккумулятивных форм рельефа – отмелей и гряд. Левые и правые берега за 1957–2010 гг. отступали от берега соответственно на расстояние 36 и 41 м, что свидетельствует о медленной скорости переработки береговых склонов на рубеже верхней и средней части водохранилища между с. Усть-Улеус и Малетино (Бейром, Савкин, 1980; Берега морей..., 1999; Савкин, 2000; Управление состоянием..., 2009; Хабидов и др., 2010, 2011; Современное состояние..., 2012).

Переходная область распространяется на расстояние 15–20 км у левого и 35–40 км у правого берега и охватывает среднюю часть водоема (пос. Ордынское), в которой сочетаются как проточные течения со скоростью 1,08–1,22 м/с и волновые явления (высота волн 0,5–1,2 м/с). В зоне отмечали береговые уступы, пляжи, наволоки и косы (формы рельефа волнового происхождения). Береговая абразия левого и правого склонов водохранилища за 1957–2010 гг. составляла 72 и 62 м, при этом разница в показателях эрозии двух берегов значительно больше, чем в области преимущественно флювиального морфогенеза (Берега морей..., 1999; Управление состоянием..., 2009; Хабидов и др., 2011; Береговая зона..., 2014; Современное состояние..., 2012).

Область преимущественно волнового морфогенеза находится в нижней части водохранилища, где на рельефообразование и осадконакопление влияют волновые явления (скорость течения в затопленном русле Оби уменьшается с 0,48 до 0,02 м/с, 0,02 м/с – у берегов, а высота волн достигает 3,5 м). В зоне распространены клифы и бенчи (абразионные формы рельефа), пляжи, косы, стрелки, томболо и волновые рифели (аккумулятивные формы рельефа). Отступание левого и правого берега за 1957–2010 гг. составило 153 и 710 м (для суглинков и песков), что говорит не только о возрастании интенсивности эрозии берегов в области преимущественного волнового морфогенеза, но и о различной скорости абразии двух берегов нижней части водохранилища (Бейром, Савкин, 1980; Берега морей..., 1999; Управление состоянием..., 2009; Хабидов и др., 2011; Береговая зона..., 2014; Современное состояние..., 2012).

Во время наполнения водохранилища с 1957–1959 гг. начались активные процессы берегообрушения по всей его акватории. Для снижения этих процессов с 1957 по 2012 гг. было произведено строительство берегозащитных сооружений. При этом с 1960 г. к моменту достижения водоемом нормального подпорного уровня по 2008 г. наблюдали рост береговой абразии, распространившейся на территорию от 115 до 400 км. С 1960 по 2010 гг. отмечали существенное сокращение протяженности эродированных береговых склонов до 244 км и плавное прогнозируемое уменьшение берегообработки с 2011 по 2015 гг., но само обрушение берегов может продолжаться, так как представляет собой естественный циклический процесс в ходе эксплуатации водохранилища. Отрицательными последствиями абразии стали сокращение земель различных категорий природопользования и вырубка прибрежных лесов, площади которых с 1959 по 2008 гг. увеличились с 4 до 22 км<sup>2</sup> и от 800 до 1000 га, а также заиление и заносимость устьев заливов водохранилища материалами абразии берегов (Бейром, Савкин, 1980; Савкин, 2000; Савкин и др., 2009; Управление

состоянием..., 2009; Савкин, Кондакова, 2011; Савкин, 2012; Современное состояние..., 2012).

Гидрохимический режим водохранилища характеризуется минеральным составом воды и содержанием растворенного кислорода и углерода, биогенных и органических веществ, микроэлементов и тяжелых металлов (Многолетняя динамика..., 2014).

На минеральный состав воды Новосибирского водохранилища влияет основной сток р. Оби, который зависит от сезона года. В зимний период концентрация катионов и анионов в воде возрастает, а весной и летом уменьшается. По классификации О.А. Алекина (1970) вода Новосибирского водохранилища относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, I-II типу и категории слабоминерализованных вод. Общая минерализация воды (1958–2011 гг.) колебалась от 100 до 438 мг/л, а общая жесткость находилась в пределах 1,39–5,01 мг-экв/л. Содержание гидрокарбонатов (1958–1996 гг.), составляющих основную роль среди анионов (38–47 % экв. от минерализации) изменялось от 8 до 313 мг/л и имело максимальные значения в верховье, а минимальные – приплотинном районе водохранилища. Сульфат-ионы (1958–2014 гг.) имели значение 3–33 мг/л (5–9 % экв. от минерализации), а их содержание в воде за последние 38 лет эксплуатации водохранилища возросло в 1,8 раза. Концентрация хлорид-ионов (1957–1996 гг.) составляла 0,5–8,0 мг/л (0,5–5,0 % от минерализации) и за последние 38 лет по сравнению с периодом становления водохранилища увеличилась в 1,6 раза. В верхней части водохранилища хлоридов наблюдалось в 1,4 раза больше, чем нижней озеровидной. Содержание ионов кальция в водохранилище (1958–1996 гг.), занимающих основное место среди катионов, составляло от 22,5 до 62,7 мг/л (25–41 % экв. от суммы ионов), где наибольшая их концентрация была отмечена в речной части водохранилища, а наименьшая – в нижней озерной. Концентрация ионов магния в воде (1958–1996 гг.) составляла 2–15 мг/л (6–15 % экв. от суммы ионов), равномерно увеличиваясь от верхней части водохранилища до нижней озеровидной.

Содержание щелочных металлов (натрия и калия) в Новосибирском водохранилище (1958–1975 гг.) составляло от 0,8 до 24,0 мг/л (1–16 % экв. от минерализации воды (Гидрометеорологический режим..., 1979; Обременко, Подлипский, 1980; Даниленко и др., 1989; Мониторинг качества..., 1995; Савкин, 2000; Экологическое состояние..., 2000; Воротников, Кустовский, 2001; Двуреченская, 2006; Химические формы..., 2006; Савкин, Двуреченская 2010; Горгуленко, Яныгина, 2014; Савкин, Двуреченская, 2014, 2018).

В Новосибирском водохранилище во все сезоны его эксплуатации, как по длине, так и по ширине акватории, регистрируется неоднородность химического состава воды. Ее причинами являются вытянутая форма водоема, недостаточное смешение водных масс из-за особенностей их динамики, влияния растительности летом, отсутствие ветрового перемешивания и изолированности от русла его пойменных участков, которому способствует низкий уровень водохранилища зимой, что благоприятствует появлению участков с различным уровнем минерализации (Гидрометеорологический режим..., 1979; Обременко, Подлипский, 1980; Двуреченская, 2006).

Содержание кислорода в воде (1958–2014 гг.) колебалось от 0,2 до 15,5 мг/л (2–105 % насыщения), достигая максимального значения в период летней вегетации фитопланктона и минимального зимой из-за низких температур и наличия снежного покрова. Концентрация углекислого газа в воде (1958–1982 гг.) варьировалась в пределах от 0,0 до 47,0 мг/л. Максимальные значения двуокиси углерода отмечались в марте на удаленных от русла участках в придонном слое воды, а минимальные – летом в поверхностном слое воды в русловой части водоема. Неблагоприятный газовый режим водохранилища в начале его существования (1958–1967 гг.), когда минимальные концентрации кислорода опускались до значений 0,2 мг/л, а максимальные значения двуокиси углерода достигали 47 мг/л, был связан с процессами разложения растительного и почвенного покрова затопленного

ложа водохранилища. С 1968–1973 гг. баланс растворенного в воде кислорода и углекислого газа восстановился, и сложились благоприятные условия обитания гидробионтов, которые сохраняются в течение 43 лет его существования (Ланбина, Журба, 1985; Экологическое состояние..., 2000; Савкин, Двуреченская, 2014; Многолетняя динамика..., 2014; Савкин, Двуреченская, 2018).

Летом в зонах затопленного русла Оби на речном и озерных участках концентрация кислорода меньше, чем в заливах и пойме. В речной части водохранилища в летний период вследствие хорошей перемешиваемости воды слабой вегетации фитопланктона содержание кислорода по глубине не наблюдается, тогда как в озерной его части благодаря замедлению течения и активному развитию водорослей происходит его равномерное распределение от поверхности ко дну. Вследствие сохранения воды, насыщенной кислородом у плотины в зимний период, его концентрация в речной части водоема значительно ниже, чем в озерной. Уменьшение содержания кислорода зимой в придонном слое воды связано с отсутствием перемешивания и увеличением его концентрации в поверхностном слое. Динамика концентрации растворенного в воде углекислого газа в Новосибирском водохранилище (1976–1982 гг.) отличается резкими внутригодовыми колебаниями, которые объясняются процессами фотосинтеза летом и разложением детрита гидробионтов зимой (Обременко, Подлипский, 1980; Ланбина, Журба, 1985).

Активная реакция среды в водах Новосибирского водохранилища (1958–2014 гг.) колебалась от нейтральной до слабощелочной (от 6,6 до 8,7). Зимой значение pH меньше, чем летом, и связано со способностью фотосинтеза уменьшать концентрацию в воде углекислого газа. За 38 лет эксплуатации водохранилища отмечается уменьшение пределов колебаний значений с 6,6–8,7 до 7,3–8,6. В нижней части водохранилища регистрируется рост значений водородного показателя от поверхности к придонному слою (Обременко, Подлипский, 1980; Экологическое

состояние..., 2000; Воротников, Кустовский, 2001; Химические формы..., 2006; Савкин, Двуреченская, 2018).

Содержание нитрат-ионов в воде Новосибирского водохранилища (1957–2014 гг.) находилось в пределах 0,00–4,87 мг/л, их наибольшая концентрация в воде отмечена в зимнее время, что связано минерализацией органических веществ, образованных в результате деятельности фито- и зоопланктона и поступлением зимней воды, обогащенной нитрат-ионами. Наименьшая концентрация отмечается весной с наступлением половодья. Содержание нитритов в воде водохранилища (1957–2014 гг.) составляло 0,00–2,44 мг/л, уменьшаясь летом вследствие увеличения водных запасов водохранилища и их разбавительной роли во время летней сработки водохранилища и увеличиваясь зимой, благодаря росту концетрации нитрит-ионов в воде р. Обь из-за гидрохимического стока р. Бердь и усилинию грунтового питания. Содержание аммонийного азота в воде водохранилища (1957–2014 гг.) изменялась в пределах 0,00–2,15 мг/л. Максимальное содержание аммонийного азота регистрируется зимой, когда его концентрация возрастает в самой воде р. Обь, а минимальное – летом, когда происходит его потребление из-за вегетации фитопланктона. Содержание фосфатов в воде водохранилища (1957–2014 гг.) изменялось от 0,000 до 0,209 мг/л. Максимальное содержание фосфатов отмечалось летом за счет протекания микробиологических процессов. Зимой содержание фосфатов в воде уменьшалось, что объясняется ослаблением продукционных процессов. Содержание в воде общего растворенного железа (1957–2005 гг.) изменялось в довольно широких пределах – от 0,00 до 0,92 мг/л. Максимальная концентрация железа в воде наблюдалась летом. За 39 лет эксплуатации Новосибирского водохранилища содержание общего железа увеличилось в 1,2 раза. Более 50 % железа аккумулируется в водохранилище. Содержание кремния в воде водохранилища (1958–1982 гг.) колебалось в пределах 0,4–5,3 мг/л, максимальные концентрации которого регистрировались летом, а минимальные – зимой и связаны с развитием диатомовых водорослей

(Гидрометеорологический режим..., 1979; Ланбина, Карпеева, 1985; Даниленко и др., 1989; Экологическое состояние..., 2000; Воротников, Кустовский, 2001; Динамика гидролого-гидрохимических..., 2001; Пространственная и временная..., 2001б; Формирование гидролого-гидрохимического..., 2003; Химические формы..., 2006; Горгуленко, Яныгина, 2014; Савкин, Двуреченская, 2014; Многолетняя динамика..., 2014; Савкин, Двуреченская, 2018).

Распределение нитратов по акватории водохранилища неравномерное и особенно проявляется в нижней озеровидной части. Зимой при продвижении воздушных масс с высоким содержанием нитратов отмечается снижение их концентрации от верховья водохранилища к плотине. В период весеннего половодья прослеживается обратная закономерность. Летом распределение нитратов по акватории зависит от расположения и степени развития фитопланктона. В период ледостава концентрация нитратов увеличивается от поверхности к придонному слою воды, и наиболее прослеживается в озерной части водоема. Летом повышенные концентрации нитрат-ионов наблюдаются во всей толще воды. Установлено, что за 24 года эксплуатации водохранилища содержание нитрат-ионов увеличилось в 2 раза. Для нитритов в Новосибирском водохранилище наблюдается рост их концентрации на пойменных участках, по сравнению с русловыми. За 24 года существования водоема их содержание возросло в 10 раз, но с 33 года регистрируется уменьшение их концентрации от верховьев к плотине. Зимой наблюдается уменьшение концентрации ионов аммония от выклинивания подпора к плотине, а летом она имеет одинаковые значения по всей длине водоема. За 24 года существования водоема их содержание возросло в 2 раза, но с 33 года регистрируется уменьшение их концентрации от верховьев к плотине. При развитии фитопланктона в поверхностном слое воды повышается содержание ионов аммония, а в придонном слое при недостатке кислорода и разложении органического вещества происходит уменьшение их содержания. Процесс накопления фосфат-ионов наиболее интенсивно

протекает на пойменных участках, чем в русловой части озерного расширения водохранилища. За 39 лет эксплуатации водоема содержание фосфат-ионов возросло в 2,5 раза. Содержание железа заметно снижаются по направлению к нижней приплотинной части водоема, а его миграция осуществляется преимущественно во взвеси по направлению к нижней части водоема, при этом повышается доля растворенной формы этих элементов. Концентрация железа с глубиной возрастает. Содержание железа в воде водохранилища увеличивается, несмотря на снижение его поступления через входной створ, причиной которого является накопление его в илах озеровидной части водоема по сравнению с его речным участком. У входного створа водохранилища наблюдалось снижение содержания кремния, что свидетельствовало о начале процесса эвтрофирования водоема (Ланбина, Карпееva, 1985; Экологическое состояние..., 2000; Формирование гидролого-гидрохимического..., 2003; Химические формы..., 2006; Савкин, Двуреченская, 2014).

Содержание фенолов в воде Новосибирского водохранилища (1978–2014 гг.) находилось в пределах 0,00–0,04 мг/л и имело наиболее высокую концентрацию в Бердском заливе. Содержание нефтепродуктов в Новосибирском водохранилище (1978–2014 гг.) составляло 0,01–6,40 мг/л, достигая наибольшей концентрации в Бердском заливе зимой и в нижней озеровидной части летом. БПК<sub>5</sub> – показатель, характеризующий содержание легкоокисляемых соединений, значения которых в воде водохранилища (1987–2014 гг.) колебались в пределах 0,1–6,7 мгО/л. Бихроматная окисляемость (ХПК) в воде водохранилища (1961–1996 гг.) имела значения 1,4–24,0 мгО/л (Гидрометеорологический режим..., 1979; Ланбина, Карпееva, 1985; Даниленко и др., 1989; Определение фенолов..., 1995; Современное состояние..., 2012; Динамика гидролого-гидрохимических..., 2001; Пространственная и времененная..., 2001; Формирование гидролого-гидрохимического..., 2003; Многолетняя динамика..., 2014; Савкин, Двуреченская, 2018).

При продвижении от входного створа к плотине концентрация фенолов уменьшается, что связано с процессами самоочищения, протекающими при повышении температуры воды и неравномерным распределением по длине водоема продуктов биохимического распада гидробионтов. При изучении загрязнения фенолами было выявлено несколько его производных: ди-, триметил-, а также орто- и параглорфенолы и хлорфенол, которые превышали предельно-допустимую концентрацию хозяйственно-питьевого водопользования ( $\text{ПДК}_{\text{в}}$ ) (0,001 мг/л) (СанПиН 4630–1988, (1988)) и имели техногенное происхождение. Концентрация нефтепродуктов зависит только от антропогенной составляющей и связана со сбросами в акваторию реки Обь и самого водохранилища и деятельности судоходного транспорта, так как водоем не снижает ее. С 1990 по 2011 гг. наблюдалось существенное уменьшение концентрации нефтепродуктов по всей акватории водоема, при этом начиная с 2007 г. ее значения меньше  $\text{ПДК}_{\text{вр}}$  (рыбохозяйственного водопользования) (0,05 мг/л) (Перечень рыбохозяйственных..., 1999). Степень загрязненности фенолами и нефтепродуктами акватории Новосибирского водохранилища (2005–2010 гг.) по обобщенному оценочному баллу (ООБ), учитывающему частоту и кратность превышения  $\text{ПДК}_{\text{вр}}$ , показывает устойчивую повторяемость загрязнений низкого уровня для средней и среднего – для нижней озеровидной частей водохранилища. Наибольшая степень загрязненности фенолами и нефтепродуктами по сравнению с остальной акваторией характерна для створа Боровое – Быстровка (нижняя часть водоема), что объясняется высокой степенью зарастания высшей водной растительностью и размывом берегов под воздействием волн от юго-западных ветров Ирменского плеса. Наибольшее содержание органических веществ, определенных по ХПК, в воде водохранилища фиксируется весной и характерно для речной части, вследствие влияния аллохтонного органического вещества, и летом в озеровидной части, указывая на преобладающую роль автохтонного планктоногенного органического вещества. Зимой более высокие величины

бихроматной окисляемости отмечается в озеровидной части водохранилища, чем в речной, где сохраняется накопленная летом на пойменных участках органика. В период весеннего половодья по мере продвижения обогащенных органикой вод значение бихроматной окисляемость снижается от выклинивания подпора к плотине. За 35 лет существования водохранилища содержание органических веществ, определяемых по величинам ХПК возросло в 1,4 раза. Максимальные значения БПК<sub>5</sub> фиксируются весной в русловой зоне водохранилища, за счет повышенного количества загрязняющих веществ, смываемых при таянии снега с поверхности водосбора и переносимых с водой р. Оби в водохранилище. В озерной части водоема максимальные значения БПК<sub>5</sub> регистрируются летом вследствие развития планктона. За 35 лет существования водохранилища содержание легкоокисляемых веществ, определяемых по величине БПК<sub>5</sub>, возросло в 1,6 раза. С 1990 по 2011 гг. значения БПК<sub>5</sub> выше ПДК<sub>вр.</sub> (2 мгО/л) (Перечень рыбохозяйственных..., 1999), что свидетельствует об устойчивом загрязнении водоема легкоокисляемыми веществами (Обременко, Подлипский, 1980; Ланбина, Карпеева, 1985; Определение фенолов..., 1995; Современное состояние..., 2012; Динамика гидролого-гидрохимических..., 2001; Пространственная и времененная..., 2001; Формирование гидролого-гидрохимического..., 2003; Двуреченская, 2007; Савкин, Двуреченская, 2010, Двуреченская и др., 2012; Савкин, Двуреченская, 2014, Многолетняя динамика..., 2014).

Содержание микроэлементов, в том числе тяжелых металлов (1959–2012 гг.) в воде водохранилища имели значения (мкг/л): для олова – 100,0–160,0; свинца – 0,0–51,3; висмута – 1,0; никеля – 0,20–6,10; титана – 1,0; ванадия – 1,0; вольфрама – 10,0; марганца – 0,0–1000,0, стронция – 100,0–1000,0; кобальта – 0,2–3,0; йода – 0,001–0,011; брома – 0,003–0,016; фтора – 0,11–0,16; меди – 0,7–33,0; алюминий – 0,0–1000,0; хрома – 0,2–6,0; бария – 23,0–1000,0; цинка – 1,0–105,0; ртути – 0,020–0,057; кадмия – 0,01–1,69; мышьяк – 0,5–4,0. Молибден присутствует только в растворенной форме на

уровне 0,01 %. Концентрация взвешенных форм марганца, свинца, меди и алюминия колеблется в пределах 0,00–1,34 %, 0,00–0,67 %, 0,02–0,49 % и 0,07–0,93 %. Для титана характерна миграция в виде взвешенного вещества в количестве 0,020–0,117 %, а в растворенном состоянии он присутствует на уровне 0,01 %. По содержанию доминирующими элементами акватории Новосибирского водохранилища были марганец, свинец, медь, алюминий, титан и олово (Ланбина, Подлипский, 1985; Даниленко и др., 1989; Экологическое состояние..., 2000; Химические формы..., 2006; Эйрих, Дрюнина, 2011; Консервативные загрязняющие..., 2012).

Миграция алюминия, марганца и никеля осуществляется преимущественно во взвеси, по направлению к нижней части водоема немного повышается доля растворенной формы этих элементов. В растворенном состоянии мигрируют стронций и барий, при этом их наибольшие значения зафиксированы в приплотинном озеровидном плесе. Медь в верхней части водохранилища аккумулируется преимущественно во взвеси, а в нижней части – в растворе. Цинк, кадмий, свинец и ртуть мигрируют, как во взвешенном, так и в растворенном состоянии. Магний мигрируют в растворенном состоянии; кобальт и олово – со взвесью, а хром – как со взвесью, так и в растворенных формах (Ланбина, Подлипский, 1985; Химические формы..., 2006).

Содержание железа, алюминия и марганца заметно снижается по направлению к нижней приплотинной части водоема, концетрации стронция, бария, меди, свинца и никеля несколько уменьшаются от верхнего участка водохранилища к среднему, а затем опять возрастают к нижнему. Распределение цинка и ртути по длине Новосибирского водохранилища неравномерное. В отличие от остальных элементов концентрация кадмия вниз по течению увеличивается. Относительное повышение содержания растворенных элементов в воде в нижней приплотинной части водохранилища может быть связано с поступлением металлов с бытовыми и промышленными стоками г. Бердска и г. Искитима. Снижение доли

взвешенных форм микроэлементов в воде нижней части водоема связано с осаждением взвеси, что свидетельствует о своеобразной барьерной роли водохранилища, которое выступает в качестве отстойника вод р. Обь, где алюминий, медь, титан, свинец, олово и марганец аккумулируются в донных отложениях. В целом концентрации большинства элементов не превышают ПДК для рыбохозяйственных и питьевых вод, за исключением марганца в верхней части водохранилища, но при определенных физико-химических условиях возможно вторичное загрязнение вод тяжелыми металлами (Ланбина, Подлипский, 1985; Химические формы..., 2006).

В 2017–2018 гг. основными загрязняющими веществами акватории Новосибирского водохранилища и Бердского залива были: соединения азота и меди, нефтепродукты, легкоокисляемые органические соединения (по показателю БПК<sub>5</sub>), фенолы, цинк и марганец. Из 14 контролируемых веществ 10 превышали значения ПДК (Государственный доклад ..., 2018; 2019).

В 2017 г. в отличие от 2016 г. наблюдается повышение средних концентраций фенолов, марганца, меди, железа общего, легкоокисляемых органических веществ (по показателю БПК<sub>5</sub>) в средней части водохранилища, содержание которых при приближении к плотине (Верхний бьеф) понижается. Средняя концентрация нефтепродуктов и цинка в 2017 году, по сравнению с 2016 годом, от средней части водоема к нижней наоборот уменьшается (Государственный доклад..., 2018).

В Бердском заливе в 2017 г., по сравнению с прошлым годом, среднее содержание аммонийного азота, легкоокисляемых органических веществ (по показателю БПК<sub>5</sub>) повышается, а меди и нефтепродуктов – понижается (Государственный доклад..., 2018).

Гидрологические факторы (водность года, уровневый режим водохранилища) играют важную роль в функционировании экосистемы Новосибирского водохранилища в межгодовом аспекте. В летний период на развитие цианопрокариот в водоеме помимо гидрологических факторов

оказывают влияние и климатические (температура воздуха, количество атмосферных осадков, облачность) (Многолетняя динамика..., 2014).

Важную роль водность года имеет при наполнении водохранилища во время весеннего половодья и установления уровня воды до отметок НПУ (нормального подпорного уровня), который зависит от уровня воды в нижнем бьефе. Водность года зависит от объема паводковых вод р. Обь, определяемыми климатическими факторами зимне-весеннего периода года (температурой воздуха, количеством твердых осадков (ниже нормы или выше), особенностями периода снеготаяния) (Многолетняя динамика..., 2014; Савкин, Двуреченская, 2018). Таким образом, в маловодные годы возможны более значительные колебания уровня водохранилища, чем в многоводные.

В 2016 году на территории Новосибирской области и Алтайского края регистрировалась теплая зима. Температура воздуха в зимний период находилась в пределах нормы и выше ее. Количество осадков было в пределах многолетних данных или больше их (Краткий обзор..., 2016), обеспечивая запас воды для заполнения водохранилища в период весеннего половодья.

Во время исследований, проводимых летом 2016 года, наблюдалась теплая погода с осадками различной интенсивности (Краткий обзор..., 2016).

Среднемесячная температура июля 2016 года была выше, чем в 2017 и 2018 гг. (рис. 2.2), но среднемесячное количество осадков было выше, чем в предыдущие годы (рис.2.3), что создало неблагоприятные условия для развития цианобактерий и водорослей. В остальные месяцы 2016 г. температура воздуха была выше, чем в июне 2017 г. и совпадала с августом этого года, а количество осадков было ниже, чем в 2017 и 2018 гг. (рис. 2.2, 2.3). Эти условия могли бы усилить вегетацию фитопланктона, но уровень водохранилища, определяемый многоводным 2016 г. сдерживал его развитие (Савкин, Двуреченская, 2018; Государственный доклад..., 2019).

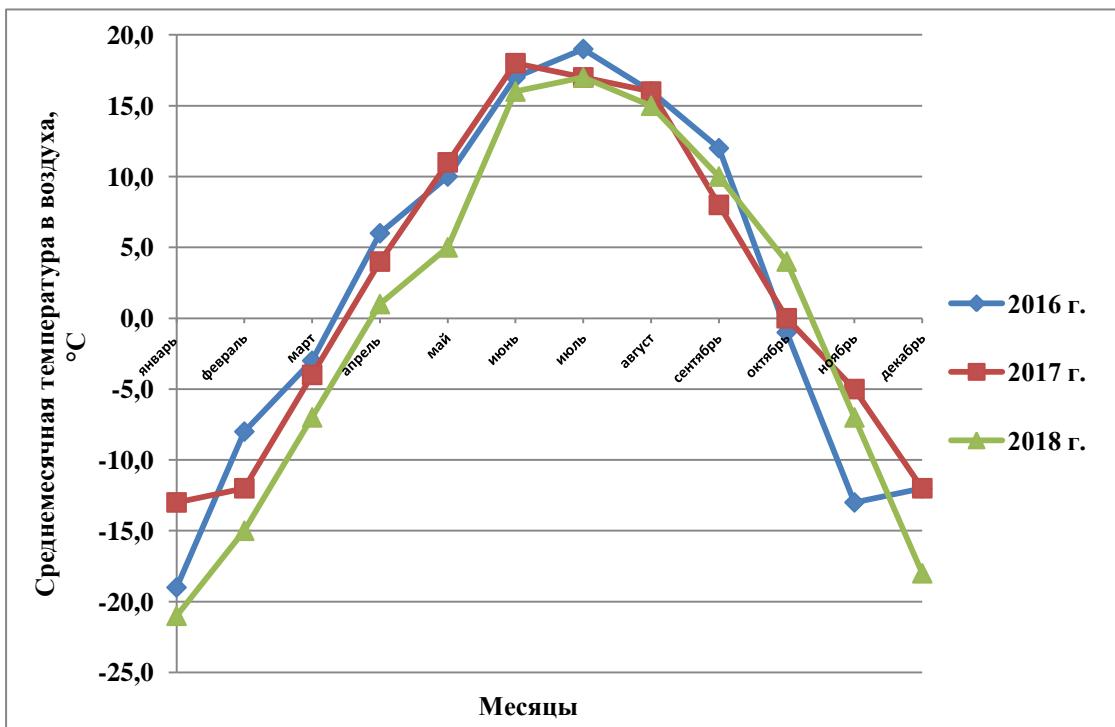


Рисунок 2.2 – Межгодовые колебания температуры воздуха в Новосибирской области, 2016–2018 гг.

Зима 2017 года сопровождалась неустойчивой погодой с частыми снегопадами, метелями и оттепелями в феврале и теплым мартом. Среднемесячная температура воздуха была выше нормы. Количество осадков было около нормы и больше ее (Государственный доклад..., 2018), способствуя накоплению снежных запасов для заполнения водохранилища.

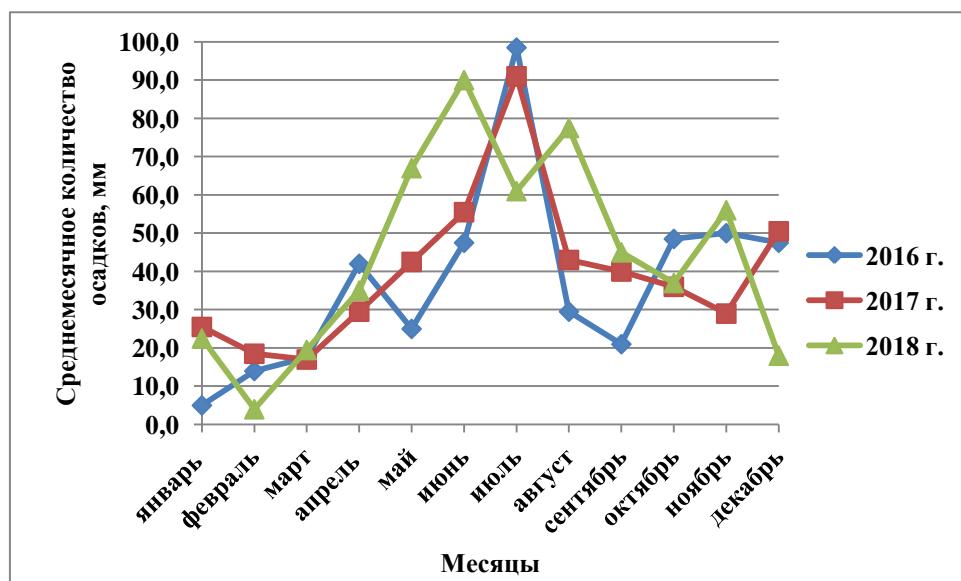


Рисунок 2.3 – Межгодовые колебания осадков в Новосибирской области, 2016–2018 гг.

Летом 2017 года наблюдался аномально жаркий июнь с недобором осадков и неустойчивой погодой в июле и августе с резкими колебаниями температуры воздуха и осадками около нормы (Государственный доклад..., 2018).

По сравнению с другими годами исследований среднемесячная температура воздуха в июне 2017 года была выше, чем в 2016 и 2018 гг., а в июле и августе совпадала со значениями 2018 и 2016 гг. Среднемесячное количество осадков в 2017 году было выше в июне и августе, чем в 2016 году, и ниже значений 2018 гг., кроме июля (рис. 2.2, 2.3) (Государственный доклад..., 2019).

Аномально жаркая температура с осадками ниже нормы в начале лета 2017 года благоприятствовала росту обилия фитопланктона, который немного снизился из-за перепадов температуры воздуха и увеличении количества осадков. Высокие температуры воздуха в июне ( $30\text{--}37^{\circ}\text{C}$ ) и осадки ниже нормы могли спровоцировать падение уровня воды в нижнем бьефе из-за усиленного потребления питьевой воды населением, что вызвало необходимость понижать уровень воды в водохранилище, тем самым улучшая условия развития фитопланктона. Возможно, именно гидрологические особенности лета 2017 г., способствовали уменьшению объема воды в водоеме и привели к сработке его уровня ниже УМО (уровня мертвого объема) в зимнюю межень, отметив этот год как маловодный (Савкин и др., 2018; Государственный доклад..., 2018, 2019).

Зимой 2018 г. наблюдалась неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры воздуха в марте, аномально холодная в январе со снегопадами и метелями и умеренно-морозная в феврале. Температура воздуха в среднем за месяц была в пределах нормы или ниже ее. Количество осадков в начале и середине зимнего периода находилось около и меньше нормы, и только в марте оно было больше нормы (Государственный доклад..., 2019).

В летний период 2018 г. отмечалась теплая погода в июне и холодная в июле с частым выпадением ливневых осадков. Среднемесячные температуры воздуха в летние месяцы находились в пределах многолетних данных. Осадки соответствовали норме и превышали ее (Государственный доклад..., 2019).

Среднемесячная температура воздуха в июне и августе 2018 года была ниже, чем за все остальные годы исследования, совпадая в июле 2018 года со значениями 2017 г. Среднемесячное количество осадков в 2018 г. было ниже, чем в 2016 и 2017 гг., кроме июля (рис. 2.2, 2.3) (Государственный доклад..., 2019).

Таким образом, в сравнительном аспекте температура воздуха в летний период (кроме июля) 2016 и 2017 гг. была выше, чем в 2018 г. Количество осадков летом 2018 года, исключая июль, по сравнению с аналогичными периодами других лет исследований повышалось. По водности 2016 год был многоводным, а 2017 г. – маловодным (Савкин, Двуреченская, 2018; Савкин и др., 2018), что повлияло на уровень воды в водохранилище, и отразилось на развитии фитопланктона.

Прозрачность воды по диску Секки при продвижении по продольной водохранилища в 2016–2018 гг. колебалась от 30 до 320 см, достигая минимальных значений на 1 створе (г. Камень-на-Оби) и 4 створе (СпириноЧингис), максимальных – на 7 створе (Ленинское–Сосновка) и 10 створе (Приплотинная). В Бердском заливе в 2016–2018 гг. прозрачность воды колебалась в пределах от 65 до 130 см, уменьшаясь при продольном движении от места его впадения в водохранилище (9 створ пос. Речкуновка) до средней части (8 створ пос. Агролес).

### 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. 3.1).



Рисунок 3.1 – Карта–схема расположения гидробиологических створов Новосибирского водохранилища (Многолетняя динамика..., 2014):  
 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.

Кроме того 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 лitorальной зоны Бердского залива – в зарослях погруженных растений и в открытой лitorали на расстоянии 15 м от зарослей. Глубина на обоих участках была 2,1 м.

Отбор проб фитопланктона на станциях производили из поверхностного слоя воды, у дна и на различных глубинах фотического слоя: 0,5S, 1S, 2S, где S – глубина фотического горизонта, численно равная прозрачности воды, измеренная диском Секки (Бульон, 1983). Пробы отбирали батометрами Ван-Дорна (1–3 створы) и Молчанова (4–10 створы) на трех точках створа: середина, левый и правый берег. Батометр Ван-Дорна применяли на участках водохранилища с быстрым течением, а батометр Молчанова – на участках, где оно было минимально или отсутствовало. Особенности использования данных приборов связаны с их конструкцией: у батометра Ван-Дорна емкость отбора расположена вертикально по течению водного потока, у батометра Молчанова – горизонтально движению водных масс.

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

Количественные пробы фитопланктона объемом 0,5 л фиксировали 40 % раствором формалина, помещали в темное место на 14 дней и концентрировали осадочным методом (Федоров, 1979).

Для обработки проб фитопланктона использовали общепринятые методы (Методика изучения..., 1975; Федоров, 1979; Методические рекомендации..., 1984; Садчиков, 2003).

Численность клеток фитопланктона устанавливали путем их подсчета в камере Горяева в двух повторностях на световом микроскопе марки Микмед-1, при этом проводили измерения клеток идентифицированных видов. При расчете биомассы фитопланктона использовали счетно-весовой метод, при котором объемы клеток приравнивали к объемам близким им по форме геометрическим телам (Федоров, 1979; Брянцева, 1996; Biovolume calculation ..., 1999; Методы изучения..., 2003).

При определении видов использовали отечественные и зарубежные определители, монографии, научные статьи и систематические сводки: Cyanobacteria (Голлербах и др., 1953; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005); Miozoa (Dinophyta) (Киселев, 1954; Popovský, Pfiester, 1990); Ochrophyta (Xanthophyta (Дедусенко-Щеголева, Голлербах, 1962); Chrysophyta (Матвиенко, 1954; Starmach, 1985)); Euglenophyta (Попова, 1955; Сафонова, 1965; Попова, 1966; Попова, Сафонова, 1976; Сафонова, 1987); Bacillariophyta (Определитель пресноводных..., 1951; Генкал, Левадная, 1980; Krammer, Lange-Bertalot 1986, 1988, 1991а, б; Генкал, 1992; Науменко, 1993в; Генкал, Чекрыжева, 2011; Генкал, Романов, 2012; Генкал и др., 2012; Определитель диатомовых..., 2016); Chlorophyta (Коршиков, 1953; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Chlorophyta..., 1983; Мошкова, Голлербах, 1986; Царенко, 1990; Tsarenko et all., 2006, 2011); Charophyta (Косинская, 1960; Паламарь-Мордвинцева, 1982).

Таксonomicкий список водорослей и цианобактерий составлен с учетом современных представлений о систематике водорослей на основе базы данных открытого интернет-ресурса Algaebase (<http://www.algaebase.org>) и других работ (Starmach, 1985; Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991а, б; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Tsarenko et al., 2006, 2011; Определитель диатомовых..., 2016).

Выделение новых для Новосибирского водохранилища таксонов водорослей и цианобактерий проводили путем сравнения полученных нами данных с литературными, относящимися к началу заполнения водохранилища (1957–1959 гг.) и в первые 10 лет его эксплуатации (Куксн, 1965б), обобщенными в систематической сводке (Водоросли Оби..., 1972) и другими работами (Куксн, 1973; Скабичевский, 1973, 1974а, б; Скабичевский, 1975; Левадная, 1976; Генкал, Левадная, 1980; Левадная, Шушуева, 1980; Куксн, Чайковская, 1985а, б; Сафонова, 1987; Науменко, 1992, 1993а, б, в, 1994; Мониторинг качества..., 1995; Науменко, 1995, 1996; Науменко, Нечаева, 2000; Генкал, Романов, 2012; Многолетняя динамика..., 2014).

Идентификацию видов диатомовых водорослей осуществляли по фотографиям их створок, полученным на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Hitachi S 3400N в ИВЭП СО РАН (г. Барнаул) и на постоянных препаратах. Материалом для них послужили интегрированные пробы фитопланктона, охватывающие все части акватории Новосибирского водохранилища.

Всего проведена обработка 12 постоянных препаратов и 374 электронных фотографий створок диатомовых водорослей.

Перед приготовлением препаратов для исследования на СЭМ у клеток диатомей осуществляли удаление их протопластов, применяя метод холодного сжигания (Руководство к ..., 1983).

Выделение доминантов фитопланктона проводили по численности, как это рекомендовано для эвтрофированных водных объектов (Михеева, 1992). К доминантам относили виды, численность которых составляла не менее 10 % от общей численности фитопланктона (Корнева, 2009), для них рассчитывали частоту встречаемости, частоту и порядок доминирования.

Встречаемость таксонов ( $pF$ ) рассчитывали в процентах от общего числа проб по формуле (3.2):

$$pF = 100 p / P, \text{ где} \quad (3.2)$$

$p$  – число проб, где отмечен данный таксон;

$P$  – общее число проб.

Частоту доминирования (DF) определяли по формуле (3.3)

$$DF = D / F \times 100, \text{ где} \quad (3.3)$$

$D$  – число проб, в которых данный вид занимал одно из трех первых мест по численности;

$F$  – общее число обработанных проб (Макаревич, 1966; Кожова, 1970).

Порядок доминирования рассчитывали согласно формуле (3.4) (Горбулин, 2012):

$$Dt = DF / pF \times 100, \text{ где} \quad (3.4)$$

$DF$  – частота доминирования;

$pF$  – частота встречаемости.

Одновременно с отбором проб фитопланктона измеряли температуру воздуха и воды, прозрачность воды по диску Секки.

Класс и категорию качества воды, трофический статус Новосибирского водохранилища устанавливали по биомассе фитопланктона, используя комплексную экологическую классификацию качества поверхностных вод суши (Комплексная экологическая..., 1993).

Оценку флористического сходства фитопланктона между разными частями Новосибирского водохранилища проводили по коэффициенту Чекановского–Сёренсена ( $K_{Ch-S}$ ), который рассчитывали по формуле (3.5) (Шмидт, 1980; Мэггарран, 1992):

$$K_{Ch-S} = 2 c / (a + b), \text{ где} \quad (3.5)$$

$a$  и  $b$  – число видов в каждой из сравниваемых флор;

$c$  – число общих для сравниваемых флор видов.

Качество вод определяли по индексу сапробности Пантле и Букку ( $S$ ), в модификации М. Зелинки и П. Марвана (Шитиков и др., 2003) по формуле (3.6). Индексы сапробности видов-индикаторов взяты из работ С. С. Бариновой и др. (Баринова и др., 2000, 2006):

$$S = \sum n_i \times h_i \times J_i / \sum h_i \times J_i, \text{ где} \quad (3.6)$$

$hi$  – численность вида;

$ni$  – сапробная валентность организма;

$Ji$  – индикаторный вес.

Показатели экологической характеристики видов фитопланктона включали:

- а) отношение к солености воды по классификации Р. Кольбе (Прошкина-Лавренко, 1953);
- б) отношение к реакции среды ( $pH$ ) по шкале Ф. Хустедта (Баринова и др., 2006);
- в) географию распространения и местообитание (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

Одновременно с обилием фитопланктона в водных экосистемах при изменении условий среды меняется его видовой состав и структура. Высокое биоразнообразие гидробионтов в водоеме повышает устойчивость его экосистемы, усложняя ее трофические связи, поэтому изменение структуры фитопланктона является общепризнанным показателем экологического состояния водного объекта (Абакумов, 1977, 1991; Бигон и др., 1989).

В летнем фитопланктоне Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. было идентифицировано 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. (Здесь и далее по тексту авторы названий отделов, родов, видовых и внутривидовых таксонов приведены в Прил. 1).

Наибольшую долю в видовом составе фитопланктона составляли диатомовые и зеленые водоросли – 51,03 и 26,37 % соответственно, доля остальных отделов колебалась в пределах 1–7 % (рис. 4.1).

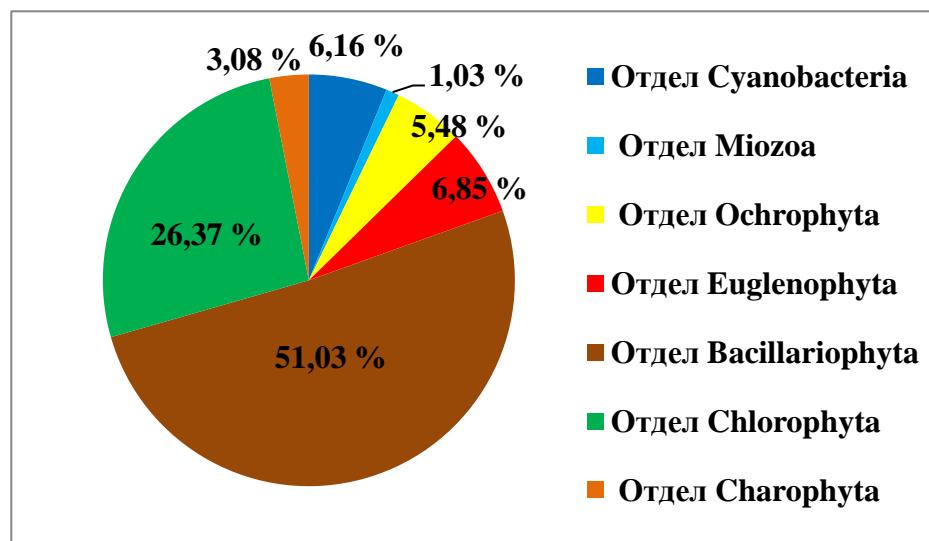


Рисунок 4.1 – Таксономическая структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Основным показателем изменения таксономического состава фитопланктона является флористическое богатство, определяемое числом родов, видов и семейств (Толмачев, 1974; Шмидт, 1980). Обязательным условием проведения исследования таксономического состава является его соответствие зависимости Виллиса. Как известно, в хорошо изученных флорах распределение числа видов по числу родов выражается в виде гиперболы. Закономерное распределение говорит о полноте выявленного разнообразия фитопланктона (Баринова и др., 2006).

Кривая Виллиса для летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища соответствовала этой зависимости (рис. 4.2), поэтому фитопланктон можно характеризовать с позиций системного анализа, включая таксономический состав, видовое богатство и его динамику.

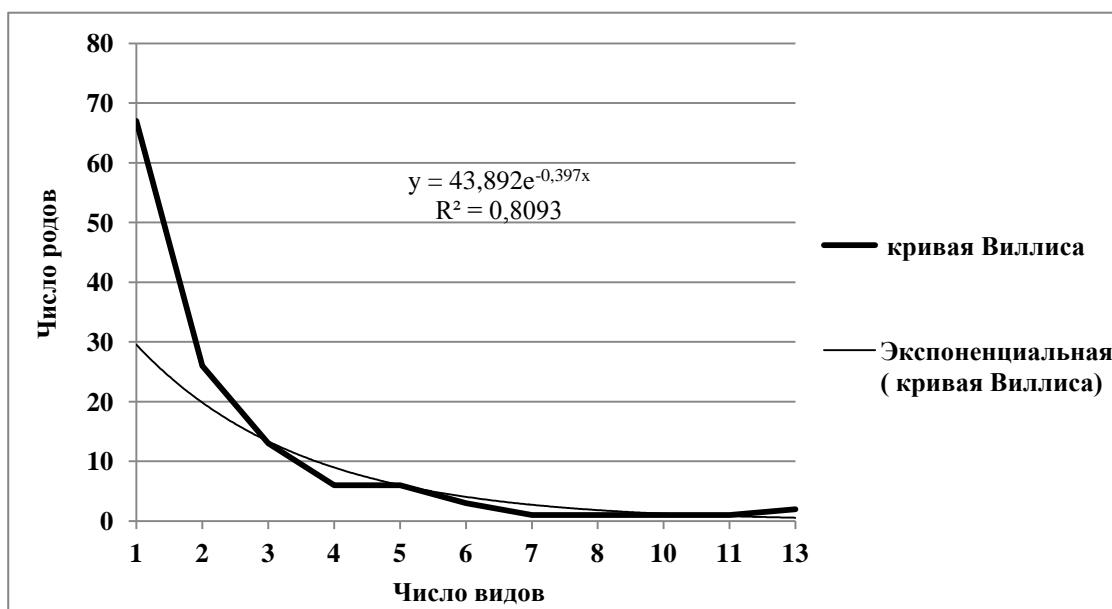


Рисунок 4.2 – Зависимость Виллиса для летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища

Наибольшей видовой и внутривидовой насыщенностью (отношение числа ВВТ к числу семейств) обладают отделы Euglenophyta, Bacillariophyta и Chlorophyta, а наименьшей – отдел Miozoa (класс Dinophyceae). Наименьшую родовую насыщенность (отношение числа ВВТ к числу родов) имеет отдел

Miozoa, а наибольшую – отделы Euglenophyta, Bacillariophyta, Ochrophyta и Charophyta (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Таксономический спектр, пропорции флоры и родовая насыщенность летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Отдел	Количество						Пропорции флоры	Родовая насыщенность таксонами	
	классов	порядков	семейств	родов	видов	видов, видновидностей и форм		видовыми	видовыми и внутривидовыми
Cyanobacteria	1	4	9	15	18	18	1:1,7:2:2	1,2	1,2
Miozoa	1	2	2	3	3	3	1:1,5:1,5:1,5	1,0	1,0
Ochrophyta	2	3	4	6	15	16	1:1,5:3,8:4	2,5	2,7
Euglenozoa	1	1	2	6	18	20	1:3:9:10	3,0	3,3
Bacillariophyta	3	14	24	52	148	149	1:2,2:6,2:6,2	2,8	2,9
Chlorophyta	3	4	15	41	72	77	1:2,7:4,8:5,1	1,8	1,9
Charophyta	1	2	3	4	8	9	1:1,3:2,7:3	2,0	2,3
Всего	12	30	59	127	282	292	1:2,2:4,8:4,9	2,2	2,3

Ведущими классами по числу ВВТ в Новосибирском водохранилище являются Bacillariophyceae, Chlorophyceae и Euglenophyceae. На уровне порядков выделяются зеленые (пор. Sphaeropleales) и диатомовые водоросли (пор. Navulales и Cymbellales) (табл. 4.2).

На уровне семейств в таксономическом спектре характерно преобладание зеленых (Scenedesmaceae) и диатомовых (Bacillariaceae, Naviculaceae) водорослей. На уровне родов в таксономическом спектре также лидируют диатомеи (табл. 4.3).

Первое место по видовому богатству в фитопланктоне Новосибирского водохранилища занимают диатомовые водоросли. Из 149 ВВТ диатомей к центрическим водорослям относятся 14 ВВТ. Диатомеи *Aulacoseira granulata* (Прил. 4, рис. 11) и *Stephanodiscus hantzschii* (Прил. 4, рис. 1) формируют

Таблица 4.2 – Таксономический спектр ведущих классов и порядков летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Класс	Количество		Порядок	Количество	
	видов	БВТ		видов	БВТ
Bacillariophyceae	132 (1)	133 (1)	Sphaeropleales	47 (1)	51 (1)
Chlorophyceae	47 (2)	51 (2)	Naviculales	30 (2)	30 (2)
Euglenophyceae	18 (3–4)	20 (3)	Cymbellales	26 (3)	26 (3)
Cyanophyceae	17 (3–4)	18 (4–5)	Bacillariales	20 (4)	20 (4–5)
Trebouxiophyceae	17 (5)	18 (4–5)	Euglenales	18 (5)	20 (4–5)
Mediophyceae	11 (6)	11 (6)	Chlorellales	17 (6)	18 (6)
Chrysophyceae	9 (7)	10 (7)	Coccoidales	14 (7)	15 (7)
Conjugatophyceae	8 (8)	9 (8)	Stephanodiscales	11 (8)	11 (8)
Xanthophyceae	6 (9)	6 (9)	Surirellales	10 (9)	10 (9)
Dinophyceae	3(10–11)	3(10–11)	Synechococcales	9 (10–11)	9 (10–12)
Coscinodiscaceae	3(10–11)	3(10–11)	Fragilariales	9 (10–11)	9 (10–12)
Ulvophyceae	1 (12)	1 (12)	Chromulinales	8 (12)	9 (10–12)
Всего	272	283	Всего	219	228
% от общего числа таксонов соответствующего ранга	93,15	96,92	% от общего числа таксонов соответствующего ранга	75,00	78,08

Таблица 4.3 – Таксономический спектр ведущих семейств и родов летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Семейство	Количество		Род	Количество	
	видов	БВТ		видов	БВТ
Bacillariaceae	20 (1)	20 (2)	Navicula	13 (1–2)	13 (1–2)
Scenedesmaceae	18 (2–3)	21 (1)	Nitzschia	13 (1–2)	13 (1–2)
Naviculaceae	18 (2–3)	18 (3)	Gomphonema	12 (3)	12 (3)
Gomphonemataceae	16 (4)	16 (4)	Desmodesmus	7 (4–5)	10 (4)
Euglenaceae	12 (5–6)	14 (5)	Amphora	7 (4–5)	7 (6)
Stephanodiscaceae	11 (5–6)	11 (6)	Trachelomonas	7 (4–5)	8 (5)
Achnanthidiaceae	10 (7–9)	10 (7–9)	Cymbella	6 (6–9)	6 (7–9)
Selenastraceae	10 (7–9)	10 (7–9)	Tryblionella	6 (6–9)	6 (7–9)
Oocystaceae	10 (7–9)	10 (7–9)	Surirella	6 (6–9)	6 (7–9)
Surirellaceae	9 (10)	9 (10–11)	Goniochloris	5 (10–12)	5 (10–12)
Dinobryaceae	8 (11–12)	9 (10–11)	Fragilaria	5 (10–12)	5 (10–12)
Cymbellaceae	8 (11–12)	8 (12)	Lagerheimia	5 (10–12)	5 (10–12)
Всего	150	156	Всего	92	96
% от общего числа таксонов соответствующего ранга	51,37	53,42	% от общего числа таксонов соответствующего ранга	31,51	32,88

наибольшую долю (75–80 %) общей численности среди видов своих родов, встречаясь в каждой из частей водохранилища (табл. 4.4, 4.5; Прил. 1) (Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов и др., 2017; Михайлов, Баженова, 2019).

*Aulacoseira granulata* – теплолюбивый доминант планктона р. Оби, достигающий своего максимального развития в летний период, благодаря присущим ему экологическим особенностям – широкому географическому распространению, индифферентному отношению к солености и pH воды. *Stephanodiscus hantzschii*, являющийся космополитом и обитателем высокоэвтрофных вод, относится к признанным индикаторам антропогенного эвтрофирования. Эти виды входят в доминирующий комплекс летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища с момента его создания и по настоящее время (Скабичевский, 1960; Куксн, 1965б; Науменко, 1984, 1996; Баринова и др., 2006; Многолетняя динамика..., 2014; Михайлов, Баженова, 2019).

Диатомеи *Aulacoseira ambigua* (0,07–0,51 млн кл./л) и *A. subarctica* (0,14–0,97 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 10, 12) формируют от 7 до 13 % общей численности рода *Aulacoseira*. Среди видов рода *Stephanodiscus* выделяются по численности *S. makarovae* (0,01 млн кл./л), *S. minutulus* (0,14–0,51 млн кл./л) и *S. neoastraea* (0,05–0,24 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 2–4). Численность *Cyclostephanos dubius* составляла 0,12 млн кл./л (Прил. 4, рис. 5).

При изучении центрических водорослей Новосибирского водохранилища в 2016–2017 г. нами были идентифицированы виды *Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella atomus* (0,03 млн кл./л), *C. meneghiniana* (0,26 млн кл./л), *Cyclostephanos invisitatus* (0,06 млн кл./л), *Discostella pseudostelligera* (0,01 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 6–9) и *Stephanodiscus makarovae* (Михайлов, 2018). Эти виды впервые были найдены в водохранилище, ранее они встречались только в р. Оби в пробах летнего фитопланктона в 1975, 1978–1989, 2002 и 2005–2008 гг. (Генкал, Левадная, 1980; Науменко, 1995; Генкал, Романов, 2012).

Наибольшая часть идентифицированных диатомей (135 ВВТ) относится к группе пеннатных, представленных 1 классом, 12 порядками, 22 семействами. Три вида – *Navigeia decussis*, *Placogeia similis* (Прил. 4, рис. 139, 140) и *Gomphonella olivacea* имеют неясное таксономическое положение. Самым многочисленным порядком диатомовых водорослей, включающим 6 семейств и 30 ВВТ, является пор. *Naviculales*, наибольшее число ВВТ (20) содержит сем. *Bacillariaceae* (Прил. 1).

Широко распространенный в водоемах разного типа вид *Asterionella formosa* встречался по всей акватории Новосибирского водохранилища, доминируя в его средней части в 2018 г., когда его численность достигала 0,70 млн кл./л (Прил. 4, рис. 13). Ранее этот вид входил в состав доминантов летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища только многоводным летом 1958 г. (Чайковская, 1970; Водоросли Оби..., 1972).

Кроме *Asterionella formosa* среди пеннатных водорослей по численности выделялись *Achnanthidium minutissimum* (0,29 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 48), *Fragilaria crotonensis* (0,65 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 18), *Gyrosigma acuminatum* (0,11 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 66, 67), *Navicula cari* (0,17 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 72), *N. gregaria* (0,23 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 75), *Nitzschia graciliformis* (0,23 млн кл./л), *N. intermedia* (0,11 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 102, 103), *N. palea* (0,23 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 106, 107), *N. subacicularis* (0,19 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 111, 117), *Ulnaria ulna* (0,16 млн кл./л), *Surirella librile* (0,13 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 129, 135), *S. minuta* (0,17 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 130, 136). Указанные виды были встречены во всех частях водохранилища.

В верхней и средней частях водохранилища были найдены *Achnanthidium pusillum* (0,11 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 49), *Iconella linearis* (0,23 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 126, 132), *Ulnaria acus* (также и в Бердском заливе, 0,17 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 25, 26). В верхней и нижней частях идентифицированы *Encyonema silesiacum* (0,10 млн кл./л) (Прил. 4, рис. 39).

Из 135 ВВТ диатомовых водорослей класса Bacillariophyceae, обитающих в водохранилище, 97 ВВТ распространены в его верхней, 55 ВВТ – в средней и 51 ВВТ – в нижней частях и Бердском заливе (Прил. 3).

В фитопланктоне Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. было идентифицировано 54 новых для водоема вида диатомей (Прил. 1), что, возможно, связано не только с интенсивно идущей сукцессией, но и существенными изменениями в систематике диатомей, произошедшими в последнее время (Определитель диатомовых..., 2016).

К зеленым водорослям (отдел Chlorophyta), занимающим второе место по численности и биомассе фитопланктона в водохранилище, относятся 77 ВВТ, из них 21 ВВТ принадлежат семейству Scenedesmaceae. Наибольшее видовое богатство (10 ВВТ) присуще роду *Desmodesmus*. Неясное таксономическое положение имеют виды *Crucigenia tetrapedia*, *Lemmermannia triangularis* и *Paradoxia multiseta* (Прил. 1).

По всей акватории водохранилища обильно вегетируют и являются доминантами в верхней, средней и нижней частях в 2016–2018 гг. и в Бердском заливе в 2017 г. *Mucidosphaerium pulchellum* (0,23–0,71 млн кл./л) и *Phacotus lenticularis* (1,85 млн кл./л). Ранее эти виды доминировали в летнем фитопланктоне в июле 1963 г. в створе Камень-на-Оби и в Бердском заливе в 1963–1964 гг. (Кукси, 1965б, Солоневская, 1965; Удилова, 1965б; Чайковская, 1970; Водоросли Оби..., 1972). Впервые массовой вегетации в водохранилище достигли *Chlamydomonas sp.* (0,24 млн кл./л), *Chlorococcum sp.* (0,36 млн кл./л) и *Ulothrix zonata* (1,99–2,11 млн кл./л), преобладающие в нижней части водохранилища в 2016 г., в верхней и средней частях в 2017 г. и нижней частях в 2018 г. Распространение в планктоне *Ulothrix zonata*, который относится к типичным эпифитным видам, связано с перемешиванием поверхностных и глубинных вод (Скабичевский, 1966) за счет высокой проточности водохранилища и ветро-нагонными явлениями (Многолетняя динамика.., 2014; Баженова, Михайлов, 2019).

Кроме вышеуказанных видов-доминантов среди зеленых водорослей, обитающих по всей акватории водохранилища, высокой численности достигали *Actinastrum hantzschii* var. *hantzschii* (0,12 млн кл./л), *Chlorella vulgaris* (0,12 млн кл./л), *Crucigenia tetrapedia* (0,13 млн кл./л), *Crucigeniella irregularis* (0,16 млн кл./л), *Desmodesmus abundans* (0,10 млн кл./л), *D. bicaudatus* (0,16 млн кл./л), *Micractinium pusillum* (0,65 млн кл./л), *Monoraphidium contortum* (0,52 млн кл./л), *M. griffithii* (0,22 млн кл./л), *Oocystis borgei* (0,17 млн кл./л), *O. lacustris* (0,31 млн кл./л), *Scenedesmus arcuatus* (0,48 млн кл./л), *S. ellipticus* (0,22 млн кл./л), *S. quadricauda* var. *quadricauda* (0,28 млн кл./л), *Schroederia setigera* (0,11 млн кл./л). В отдельных частях водохранилища интенсивно вегетировали *Coenococcus plancticus* (0,14 млн кл./л), *Micractinium quadrisetum* (0,16 млн кл./л), *Messastrum gracile* (0,14 млн кл./л), *Coenocystis subcylindrica* (0,20 млн кл./л), *Actinastrum hantzschii* var. *subtile* (0,10 млн кл./л), *Ankistrodesmus fusiformis* (0,10 млн кл./л) (Прил. 3).

78 ВВТ зеленых водорослей встречаются по всему водохранилищу, в том числе 61 – в верхней и в средней частях, 58 – в нижней и Бердском заливе (Прил. 3).

Впервые для фитопланктона Новосибирского водохранилища идентифицировано 22 ВВТ из отдела Chlorophyta (Прил.1).

Цианобактерии занимают третье место по численности и биомассе в акватории водохранилища и первое – в Бердском заливе. Они представлены в водоеме 18 ВВТ. При этом 11 из них входят в состав доминирующего комплекса (табл. 4.4, 4.5), а остальные 7 видов не вносят заметного вклада в обилие фитопланктона Новосибирского водохранилища, формируя его видовое богатство. Наибольшее количество ВВТ (9) содержит пор. Nostocales (Прил. 1).

Широко распространенные в водоемах различного типа виды *Aphanizomenon flos-aquae* (61,38 млн кл./л), *Dolichospermum flos-aquae* (14,55 млн кл./л) и *Microcystis aeruginosa* (2,36 млн кл./л), способные производить

нейро- и гепатотоксины, и *Anabaena sp.* (2,32 млн кл./л), доминируют во всех его частях, а также в верхней части в 2016 г., в нижней части в 2017–2018 гг. и в Бердском заливе в 2016–2018 гг. Космополит *Dolichospermum scheremetievae* (7,50 млн кл./л) распространен в нижней части водохранилища в 2017 г. и Бердском заливе 2016–2018 гг., где достигает массового развития в 2018 г. Вышеперечисленные виды входят в доминирующий комплекс водохранилища с начала его существования и по настоящее время, и только *Microcystis aeruginosa* распространился на всю акваторию позднее, этот вид преобладал в нижней части водохранилища летом 1961–1963 и 1968 гг. (табл. 4.4, 4.5; Прил. 1, 3) (Куксн, 1965б; Водоросли Оби..., 1972; Куксн, 1973; Куксн, Чайковская, 1985а, Науменко, 1995; Баринова и др., 2000, 2006; Многолетняя динамика..., 2014; Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов и др., 2017; Михайлов, Баженова, 2019).

Космополиты *Anatheece clathrata* (0,60 млн кл./л), *Planktolyngbya limnetica* (6,05 млн кл./л), аркто-альпийский вид *Woronichinia compacta* (1,45 млн кл./л) и *Phormidium sp.* (9,81 млн кл./л), распространенные по всей акватории водохранилища, доминируют во всех его частях, а также в верхней в 2017–2018 г., в средней 2018 гг., в нижней в 2017 г. и в Бердском заливе в 2017–2018 гг. *Snowella lacustris* (2,25 млн кл./л), встречается в верхней и нижней частях и в Бердском заливе в 2018 г. и преобладает в нижней части в 2018 г. Такого массового развития в водоеме указанные выше виды цианобактерий достигали впервые (табл. 4.4, 4.5; Прил. 1, 3) (Водоросли Оби..., 1972; Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов и др., 2017; Михайлов, Баженова, 2019).

Из 18 ВВТ цианобактерий, найденных в водохранилище, 14 ВВТ встречаются в верхней и средней, 17 – в нижней частях водоема и в Бердском заливе (Прил. 3).

Широко распространенный вид *Aphanocapsa holsatica* (9,9 млн кл./л), вегетирующий и доминирующий в годы наших исследований во всех частях

водохранилища, ранее был отмечен только в р. Оби (Водоросли Оби..., 1972; Науменко, 1995).

Эвгленовые водоросли в фитопланктоне Новосибирского водохранилища представлены родами *Euglena*, *Monomorphina*, *Strombomonas*, *Lepocinclis*, *Phacus* и *Trachelomonas*, из них 13 ВВТ встречаются в верхней, 12 ВВТ – в средней и нижней частях водохранилища и 17 ВВТ – в Бердском заливе (Прил. 1, 3).

К новым для фитопланктона Новосибирского водохранилища ВВТ эвгленовых водорослей относятся *Trachelomonas nigra* и *T. oblonga* var. *oblonga*, встречающиеся по всей его акватории, *Trachelomonas oblonga* var. *punctata* (верхняя часть), *Euglena texta* (средняя, нижняя части, Бердский залив), *Phacus tortus* (Бердский залив) (Прил. 1, 3).

Из желтозеленых водорослей (отдел *Ochrophyta*, класс *Xanthophyta*) в фитопланктоне Новосибирского водохранилища встречаются представители родов *Ophiocytium* и *Goniochloris* (Прил. 1).

Золотистые водоросли (отдел *Ochrophyta*, класс *Chrysophyceae*) в водоеме представлены родами *Dinobryon*, *Kephyrion*, *Lagynion* и *Pseudokephyrion* (Прил. 1).

Представители отдела *Ochrophyta* в 2016–2018 гг. единично встречаются в каждой из частей водохранилища: 12 ВВТ – в верхней, 6 ВВТ – в средней, 5 ВВТ – в нижней и 10 ВВТ – в Бердском заливе (Прил. 3).

Из класса *Xanthophyceae* в фитопланктоне Новосибирского водохранилища идентифицированы 3 новых вида: *Ophiocytium capitatum*, обитающий по всей его акватории, *Goniochloris fallax* (верхняя и нижняя части), которые ранее были найдены только в р. Оби (Водоросли Оби..., 1972; Науменко, 1995) и *Goniochloris spinosa*, встреченный в верхней и средней частях.

Из класса *Chrysophyta* идентифицировано 4 новых ВВТ – *Dinobryon divergens* var. *angulatum* и *Pseudokephyrion latum*, найденные в планктоне Бердского залива, *Lagynion sp.*, обитающий в верхней части и Бердском

заливе и *Dinobryon suecicum* – в верхней части водохранилища и ранее обнаружены в р. Оби (Водоросли Оби..., 1972; Науменко, 1995).

Харовые водоросли (класс Conjugatophyceae) в фитопланктоне Новосибирского водохранилища представлены родами *Spirogyra*, *Closterium*, *Cosmarium* и *Staurastrum* (Прил. 1).

Впервые массового развития в Новосибирском водохранилище достигает *Spirogyra sp.* (0,45–0,93 млн кл./л). Она доминирует в его верхней части в 2017 г., средней и нижней частях в 2016–2017 гг., активно вегетируя в летнем планктоне и в обрастаниях по всей акватории водоема (Водоросли Оби..., 1972; Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов и др., 2017; Михайлов, Баженова, 2019).

Из харовых водорослей в Новосибирском водохранилище 6 ВВТ распространены в верхней его части, 2 ВВТ – в средней, 3 ВВТ – в нижней и 9 ВВТ – в Бердском заливе (Прил. 3).

Среди харовых водорослей выявлено 6 новых для водохранилища ВВТ, из них широко распространенные бореальные виды *Closterium pronum* (Бердский залив) и *Cosmarium depressum* (верхняя часть, Бердский залив), обнаруженные ранее только в р. Оби, *Staurastrum inflexum* (Бердский залив), *Cosmarium biolatum* var. *depressum*, *Staurastrum bacillare* (верхняя часть, Бердский залив), *Cosmarium abbreviatum* (верхняя, нижняя части, Бердский залив) (Прил. 1, 3).

Динофитовые водоросли (отдел Miozoa, класс Dinophyceae) в планктоне водохранилища представлены крупноклеточными представителями родов *Ceratium*, *Parvodinium* и *Peridinium*. Заметного развития эти виды достигают в основном в Бердском заливе, где их численность составляет не более 0,15 млн кл./л (Прил. 1). Вид *Peridinium sp.* распространен по всему водоему, *Ceratium furcoides* найден только в верхней и нижней частях. *Parvodinium umbonatum*, обитающий во всех частях водоема, встречен в нем впервые и ранее в р. Оби не был идентифицирован (Киселев, 1954; Водоросли Оби..., 1972; Науменко, 1995) (Прил. 1, 3).

При сравнении наших данных с предыдущими исследованиями (Куксн, 1965б; Водоросли Оби..., 1972; Науменко, 1995; Многолетняя динамика..., 2014) видовое богатство водоема увеличилось с 262 до 292 ВВТ (Прил. 1).

Таким образом, в фитопланктоне Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. было идентифицировано 292 ВВТ, представленных 12 классами, 30 порядками и 59 семействами. Из них 96 ВВТ являются новыми для водохранилища, в том числе: Cyanobacteria – 1, Miozoa (Dinophyceae) – 1, Ochrophyta – 7, Euglenophyta – 5, Bacillariophyta – 54, Chlorophyta – 22, Charophyta – 6. Их значительная доля (32,88 %) для водоема 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).

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

Среди наиболее распространенных характеристик, используемых для описания эколого-географических особенностей видов водорослей, применяют географическую приуроченность, местообитание видов и их отношение к солености и показателю pH (Баринова и др., 2006). 19

В летнем фитопланктоне Новосибирского водохранилища эколого-географические характеристики согласно литературным данным (Баринова и др., 2000, 2006) известны для 251 ВВТ (Прил. 1), что составляет 85,96 % его видового богатства и делает эколого-географический анализ вполне корректным.

По месту обитания в планктоне Новосибирского водохранилища первое место занимают бентосные формы, второе – планктонно-бентосные, а

третье – планктонные. Из эпифитных водорослей были отмечены всего два вида – *Ankyra ocellata* и *Pseudostaurosira subconstricta* (рис. 4.3).

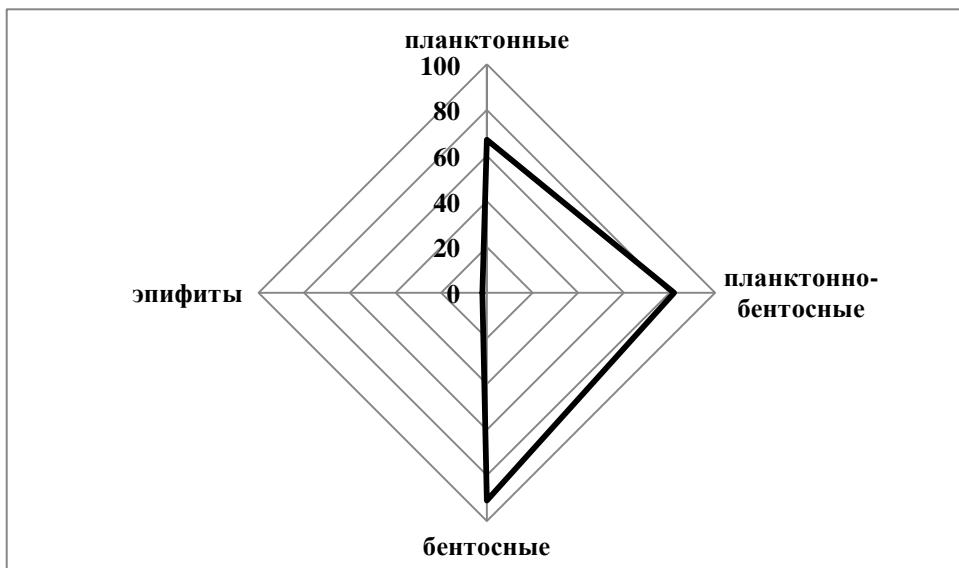


Рисунок 4.3 – Распределение летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по отношению к местообитанию

Истинно планктонные организмы (67 ВВТ) представлены видами всех отделов, идентифицированных в планктоне водохранилища, среди них преобладают зеленые (22 ВВТ), диатомовые (12 ВВТ) водоросли и цианобактерии (10 ВВТ).

Среди обитателей бентоса (91 ВВТ) преобладают диатомовые водоросли, наибольшее количество планктонно-бентосных видов (82 ВВТ) относится к зеленым (46 ВВТ) и диатомовым (24 ВВТ) водорослям.

Распределение водорослей и цианобактерий по месту обитания в Новосибирском водохранилище связано со скоростью течения и экологией самих водорослей. Для верхней части водохранилища с быстрым течением характерен речной фитопланктон с преобладанием планктонно-бентосных форм, с наибольшим развитием зеленых, диатомовых водорослей в толще воды и цианобактерий на ее поверхности. В средней части водоема, с падением скорости течения, происходит его перестройка с речного на озерный и возрастают обилие планктонных видов, в нижней части водохранилища наиболее обильно развиваются истинно планктонные виды

(Куксн, 1964, Удилова, 1965; Примайченко, 1967; Многолетняя динамика..., 2014).

По отношению к солености воды (галобности) в фитопланктоне Новосибирского водохранилища ведущее место занимают индифференты (142 ВВТ), гораздо меньше представителей других экологических групп – галофилов (26), мезогалобов (9) и олигогалобов (8), галофобов (3) (рис. 4.4).

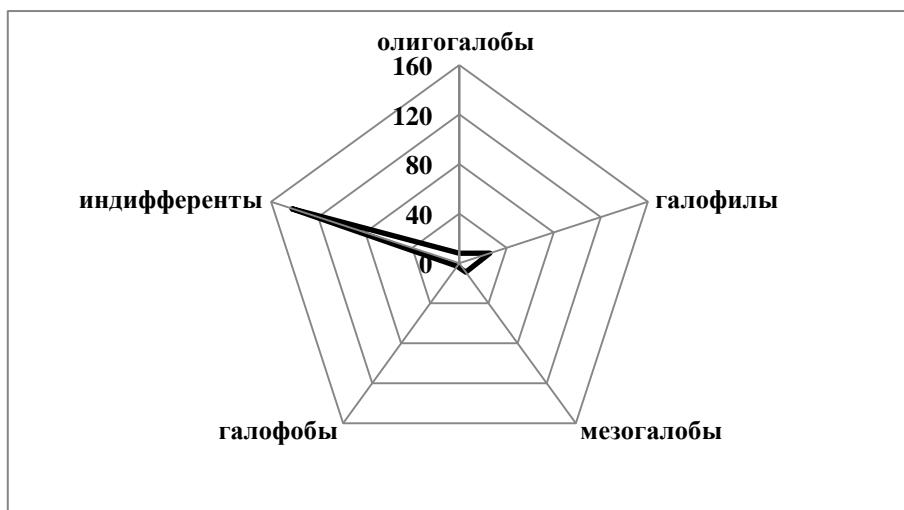


Рисунок 4.4 – Распределение летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по галобности

К видам-индифферентам относятся представители всех отделов, найденных в фитопланктоне водохранилища, кроме динофицией: цианобактерии (7 ВВТ), желтозеленые и золотистые (5), эвгленовые (12), диатомовые (82), зеленые (33) и харовые (3) водоросли. Галобность идентифицированных динофицией не установлена (Прил. 1).

Другие экологические группы гораздо менее разнообразны по видовому составу. Галофилы включают цианобактерии (5 ВВТ), эвгленовые (1), диатомовые (17) и зеленые (3) водоросли. Мезогалобы представлены эвгленовыми (2 ВВТ) и диатомовыми (7), галофобы – желтозелеными (1), диатомовыми (1), харовыми (1), олигогалобы – желтозелеными и золотистыми (3), диатомовыми (4) и зелеными водорослями (1) (Прил. 1).

По классификации О. А. Алекина (1970) поверхностные воды Новосибирского водохранилища соответствуют гидрокарбонатному классу и слабоминерализованным водам (Мониторинг качества..., 1995; Химические формы..., 2006). Поэтому пресноводные виды (индифференты и галофобы) составляют в водохранилище основную долю фитопланктоценоза (145 ВВТ) по отношению к солености воды.

По отношению к pH (активной реакции среды) в фитопланктоне водохранилища первое место занимают алкалифильты (69 ВВТ), второе – индифференты (49 ВВТ). На порядок меньше алкалибионтов (7 ВВТ) и ацидофилов (6 ВВТ) (рис. 4.5).

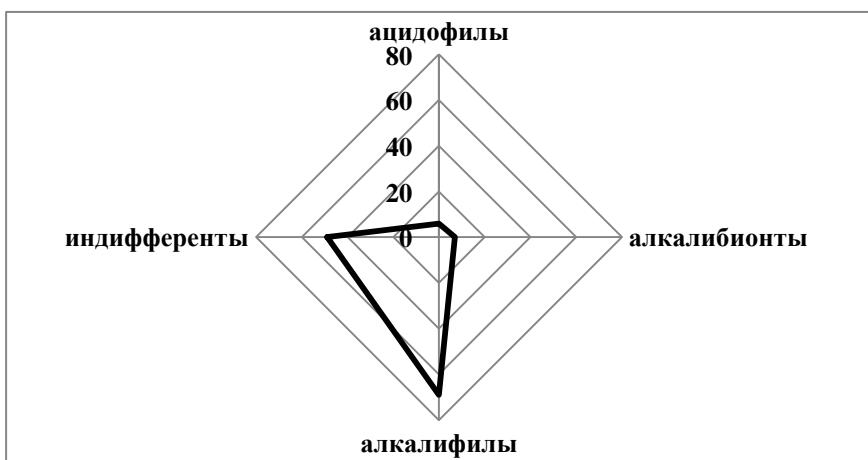


Рисунок 4.5 – Распределение летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по отношению к активной реакции среды

Наиболее разнообразен состав индифферентов, к ним относятся цианобактерии (2 ВВТ), золотистые (1), эвгленовые (11), диатомовые (24) и зеленые (11) водоросли. Водоросли других экологических групп по ацидофильности представлены гораздо менее разнообразно. К ацидофилам относятся диатомовые (5 ВВТ) и харовые (1) водоросли, к алкалифильтам – цианобактерии (1) и диатомеи (68), к алкалибионтам – только диатомеи.

Величина pH в водах Новосибирского водохранилища летом колеблется от нейтральной до слабощелочной реакции среды (7,4–8,6) (Обременко, Подлипский, 1980; Савкин, Двуреченская, 2018), поэтому в

водоеме преимущественно обитают алкалифилы и индифференты (118 ВВТ), что соответствует условиям обитания гидробионтов при указанных выше колебаниях рН.

По географической приуроченности в фитопланктоне водохранилища лидируют космополиты (182 ВВТ), им значительно уступают голарктические (17), бореальные (14) и аркто-альпийские (4) виды (рис. 4.6).

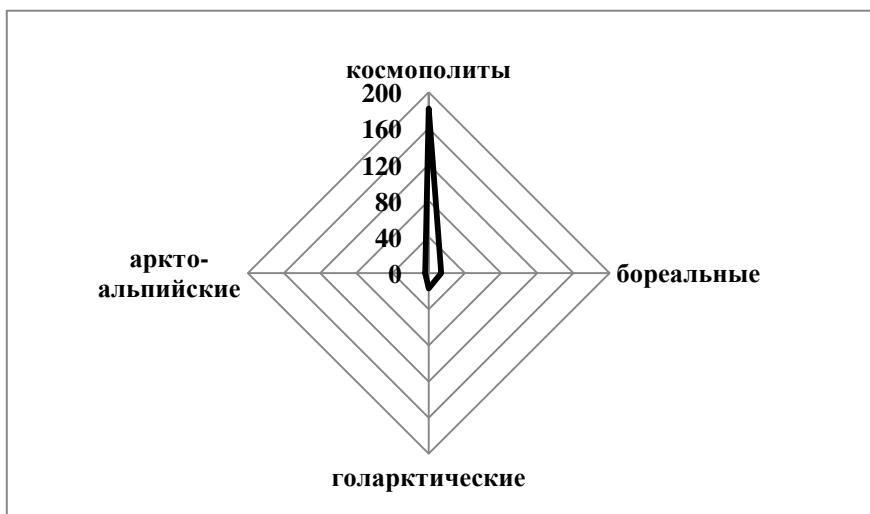


Рисунок 4.6 – Распределение летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по географическому распространению

Видовой состав указанных экологических групп весьма разнообразен, к космополитам относятся представители всех найденных в водохранилище отделов, несколько меньше видовое богатство обитателей других географических зон. Такое распределение видов по географической приуроченности характерно для фитопланктона большинства водных объектов, расположенных в умеренно-климатической зоне, куда относится и Новосибирское водохранилище (Воронина, Гриценко, 2011).

Таким образом, в фитопланктоне Новосибирского водохранилища по отношению к солености воды преобладают индифференты, по отношению к активной реакции среды (рН) – 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 исследованиях фитопланктона выделение и анализ комплекса доминирующих видов занимает ведущее место по значимости. Установлено, что продуктивность водоема в целом и качество его воды определяют те виды, которые входят в доминирующий комплекс фитопланктона, а большинство видов, определяющих видовое богатство фитопланктона водоемов, не играют заметной роли в формировании его обилия. Именно виды-доминанты определяют в основном структуру сообщества и экологическое состояние изучаемого водоема (Михеева, 1992; Баженова, 2005; Баринова, 2006; Корнева, 2009).

При выделении состава доминирующего комплекса важно также изначально установить критерии этого процесса. Доминантами (от лат. *dominantis* – господствующий) называют виды, занимающие в сообществе главное положение, оказывающие преобладающее влияние на ход биоценотических процессов, обладающие на своем трофическом уровне наибольшей продуктивностью. Как считает Х.Х. Трасс (цит. по: Миркин и др., 1989), «доминант – это вид, который активнее, чем прочие участвует в круговороте веществ в экосистеме». Таким образом, именно вид, преобладающий по численности, должен включаться в состав доминантов, особенно в водных объектах, подверженных эвтрофированию (Михеева, 1992).

Состав доминирующего комплекса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища богат и разнообразен (Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов и др., 2017; Михайлов, Баженова, 2019). В 2016–2018 гг. в него входил 21 вид, что составляет 7,19 % от общего количества идентифицированных ВВТ. Доминирующий комплекс

формируют представители 4 отделов – цианобактерии (11 видов), диатомовые (4), зеленые (5) и харовые (1) водоросли (табл. 4.4).

При сравнении доминирующего комплекса фитопланктона различных частей водохранилища по коэффициенту Чекановского–Сёренсена в 2016 г.

Таблица 4.4 – Доминирующий комплекс летнего фитопланктона

Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Часть водохранилища	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Верхняя	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Nitzschia graciliformis</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Phormidium sp.</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Ulothrix zonata</i> <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Woronichinia compacta</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i>
Средняя	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i> <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Ulothrix zonata</i> <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Anathece clathrata</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Woronichinia compacta</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i>
Нижняя	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Chlamydomonas sp.</i> <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Anabaena sp.</i> <i>Anathece clathrata</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Phormidium sp.</i> <i>Woronichinia compacta</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i> <i>Spirogyra sp.</i>	<i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Snowella lacustris</i> <i>Aulacoseira granulata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Chlorococcum sp.</i> <i>Mucidospaerium pulchellum</i>

Бердский залив	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> <i>Microcystis aeruginosa</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i> <i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> <i>Phormidium sp.</i> <i>Phacotus lenticularis</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Aphanocapsa holsatica</i> <i>Dolichospermum flos-aquae</i> <i>Dolichospermum scheremetievae</i> <i>Phormidium sp.</i> <i>Planktolyngbya limnetica</i>
----------------	---	--	---

выявлено высокое флористическое сходство для соседних участков при продвижении от зоны выклинивания подпора к плотине, а состав доминантов в верхней части водоема в сравнении с нижней частью и акваторией Бердского залива значительно различался между собой.

В 2017 г. также наблюдалось высокое флористическое сходство между расположенными рядом частями водоема, но доминирующий комплекс Бердского залива имел существенные отличия в сравнении с остальными частями водохранилища. В 2018 г., как и в 2017 г., состав доминирующего комплекса фитопланктона в Бердском заливе в сравнении с другими частями водохранилища также имел существенные отличия (табл. 4.5–4.7).

Таблица 4.5 – Индекс Чекановского–Сёренсена  
доминирующих комплексов летнего фитопланктона, 2016 г.

Части водохранилища	Верхняя	Средняя	Нижняя	Бердский залив
Верхняя		0,62	0,46	0,46
Средняя			0,67	0,67
Нижняя				0,67
Бердский залив				

Таблица 4.6 – Индекс Чекановского–Сёренсена  
доминирующих комплексов летнего фитопланктона, 2017 г.

Части водохранилища	Верхняя	Средняя	Нижняя	Бердский залив
Верхняя		0,67	0,59	0,50
Средняя			0,53	0,20
Нижняя				0,40
Бердский залив				

Таблица 4.7 – Индекс Чекановского–Сёренсена  
доминирующих комплексов летнего фитопланктона, 2018 г.

Части водохранилища	Верхняя	Средняя	Нижняя	Бердский залив
Верхняя		0,46	0,57	0,33
Средняя			0,53	0,15
Нижняя				0,29
Бердский залив				

Таким образом, доминирующий комплекс летнего фитопланктона различных частей Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. имеет высокое флористическое сходство по коэффициенту Чекановского–Сёренсена (0,46–0,67) при продвижении от зоны выклинивания подпора к плотине, за исключением Бердского залива в 2017–2018 гг.

Индекс флористического сходства доминирующего комплекса фитопланктона в Бердском заливе в сравнении с другими частями водохранилища колеблется в разные годы исследований. Наибольшее сходство отмечается в 2016 г., наименьшее – в 2018 г. Доминирующий комплекс фитопланктона в Бердском заливе отличается высоким постоянством состава, его формировали, в основном, цианобактерии, виды из других отделов входили в него только дважды – центрическая диатомея *Aulacoseira granulata* в 2016 г. и зеленая водоросль *Phacotus lenticularis* в 2017 г.

Высокое флористическое сходство доминирующего комплекса летнего фитопланктона свидетельствует о значительной однородности его состава по всей акватории водохранилища, исключая Бердский залив. В многолетнем аспекте происходит распространение повышенной вегетации цианобактерий, входящих в доминирующий комплекс фитопланктона, на верхнюю речную часть водохранилища. Этот процесс вызывается ускорением процесса эвтрофирования водохранилища, связанным с повышением уровня антропогенной нагрузки в бассейне р. Оби (Современное состояние..., 2017).

Анализ доминирующего комплекса фитопланктона Новосибирского водохранилища проводили по показателям доминирования: частоте

встречаемости (pF), частоте (DF) и порядку доминирования (Dt), устанавливая границы пределов показателей в зависимости от минимального и максимального их значений.

Высокой встречаемостью ( $pF=70-100$ ) в доминирующем комплексе фитопланктона по всей акватории водохранилища обладали цианобактерии *Dolichospermum flos-aquae*, *Planktolyngbya limnetica*, диатомовые *Aulacoseira granulata*, *Nitzschia graciliformis*, *Stephanodiscus hantzschii* и зеленые водоросли *Chlorococcum sp.*, *Chlamydomonas sp.* и *Ulothrix zonata* (табл. 4.8).

Средняя встречаемость ( $pF=40-70$ ) характерна для цианобактерий *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa holsatica*, диатомеи *Asterionella formosa*, зеленых водорослей *Mucidospaerium pulchellum*, *Phacotus lenticularis* и харовой водоросли *Spirogyra sp.* (см. табл. 4.8).

Низкая ( $pF=0-40$ ) встречаемость характерна для цианобактерий *Anabaena sp.*, *Anathece clathrata*, *Dolichospermum scheremetievae*, *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium sp.*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia compacta* (см. табл. 4.8).

По частоте доминирования (DF) виды-доминанты подразделялись на: высокую ( $DF=51-78$ ) – диатомовая *Aulacoseira granulata*, среднюю ( $DF=26-50$ ) *Aphanizomenon flos-aquae*, *Stephanodiscus hantzschii* и низкую ( $DF = 0-25$ ) *Anabaena sp.*, *Anathece clathrata*, *Aphanocapsa holsatica*, *Dolichospermum flos-aqua*, *Dolichospermum scheremetievae*, *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium sp.*, *Planktolyngbya limnetica*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia compacta*, *Asterionella formosa*, *Nitzschia graciliformis*, *Chlorococcum sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Mucidospaerium pulchellum*, *Phacotus lenticularis*, *Ulothrix zonata*, *Spirogyra sp.* (см. табл. 4.8).

Таблица 4.8 – Состав доминирующего комплекса и показатели доминирования летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Таксон	Верхняя часть			Средняя часть			Нижняя часть			Бердский залив			D	рF (частота встречаемости)	DF (частота доминирования)	Dt (порядок доминирования)
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cyanobacteria																
<i>Anabaena</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	1	6,0	0,7	11,7
<i>Anathece clathrata</i>	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	2	6,7	1,3	19,4
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	38	58,0	25,3	43,6
<i>Aphanocapsa holsatica</i>	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	32	48,0	21,3	44,4
<i>Dolichospermum flos-aquae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	10	80,7	6,7	8,3
<i>Dolichospermum scheremeteviae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	3	11,3	2,0	17,7
<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	2	5,3	1,3	24,5
<i>Phormidium</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	8	26,0	5,3	20,4
<i>Planktolyngbya limnetica</i>	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	+	22	70,0	14,7	21,0
<i>Snowella lacustris</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	2	3,3	1,3	39,4
<i>Woronichinia compacta</i>	-	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	-	5	20,7	3,3	15,9
Bacillariophyta																
<i>Aulacoseira granulata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	117	100,0	78,0	78,0
<i>Asterionella formosa</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	1	52,0	0,7	1,3
<i>Nitzschia graciliformis</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	78,0	0,7	0,9
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	-	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	49	100,0	32,7	32,7
Chlorophyta																
<i>Chlamydomonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	2	100,0	1,3	1,3

## окончание таблицы 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Chlorococcum sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	2	97,3	1,3	1,3
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i>	-	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	-	7	62,7	4,7	7,5
<i>Phacotus lenticularis</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	48,0	0,7	1,5
<i>Ulothrix zonata</i>	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	18	70,7	12,0	16,9
Charophyta																
<i>Spirogyra sp.</i>	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	3	62,0	2,0	3,2

Примечания:

D – число проб, в которых данный вид занимал одно из трех первых мест по численности.

По порядку доминирования (Dt) доминирующие виды подразделялись на: высокий (DF=51–78) – *Aulacoseira granulata*, средний (DF=26–50) – *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aphanocapsa holsatica*, *Snowella lacustris* и *Stephanodiscus hantzschii* и низкий (DF=0–25) – *Anabaena sp.*, *Anatheece clathrata*, *Dolichospermum flos-aqua*, *Dolichospermum scheremetieviae*, *Microcystis aeruginosa*, *Phormidium sp.*, *Planktolyngbya limnetica*, *Woronichinia compacta*, *Asterionella formosa*, *Nitzschia graciliformis*, *Chlorococcum sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Mucidospaerium pulchellum*, *Phacotus lenticularis*, *Ulothrix zonata* и *Spirogyra sp.* (см. табл. 4.8).

Таким образом, в результате анализа доминирующего комплекса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища было установлено, что максимальными значениями порядка и частоты доминирования и частоты встречаемости обладает диатомея *Aulacoseira granulata*, за которой следуют *Stephanodiscus hantzschii* и *Aphanizomenon flos-aquae*, уступающие *Aulacoseira granulata* только по частоте встречаемости.

*Snowella lacustris*, обладая низкой встречаемостью и частотой доминирования, занимает высокий порядок доминирования, а *Aphanocapsa holsatica* при средней встречаемости и низкой частоте доминирования также обладает высоким порядком доминирования. Остальные водоросли и цианобактерии, даже показывая высокую встречаемость, отличаются низкими показателями частоты и порядка доминирования.

Среди видов, выделенных в доминирующем комплексе водохранилища с момента его заполнения, и идентифицированных в 2016–2018 гг., были отмечены следующие 11: *Anabaena sp.*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Dolichospermum flos-aqua*, *Microcystis aeruginosa*, *Aulacoseira granulata*, *Asterionella formosa*, *Nitzschia graciliformis*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Mucidospaerium pulchellum*, *Phacotus lenticularis* (Кукси, 1958; Павлова и др., 1958; Кукси, 1961; Попова, 1961; Солоневская, 1964; Кукси, 1965б; Левадная, 1964; Солоневская, 1965; Удилова, 1965; Солоневская, 1966, Солоневская,

1970а; Кукси, 1973; Левадная, Шушуева, 1980; Кукси, Чайковская, 1985а, б; Мониторинг качества..., 1995).

Таким образом, на современном этапе эксплуатации водохранилища в доминирующий комплекс входили все виды-доминанты, выделенные в предыдущие годы исследований. По сравнению с 1995 г. список видов доминирующего комплекса в 2016–2018 гг. увеличился почти в 2 раза – с 11 до 21. Список доминантов дополнили 6 видов цианобактерий (*Anathee clathrata*, *Aphanocapsa holsatica*, *Phormidium sp.*, *Planktolyngbya limnetica*, *Snowella lacustris*, *Woronichinia compacta*), 3 вида зеленых (*Chlamydomonas sp.*, *Chlorococcum sp.*, *Ulothrix zonata*) и 1 вид харовых (*Spirogyra sp.*) водорослей.

Как известно, увеличение количества видов-доминантов в фитопланктоне различных водоемов, приводящее к его полидоминантности, вызываются ускорением процесса антропогенного эвтрофирования (Охапкин, 1997; Баженова, 2005). Для Новосибирского водохранилища этот процесс подтверждается изменением его трофности по среднему содержанию хлорофилла «а» от мезотрофной до эвтрофной (Кириллов, Чайковская, 1985; Трифонова, 1990; Котовщиков, Яныгина, 2018).

В результате проведенных исследований для доминирующего комплекса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища установлены следующие особенности:

1. Существенное возрастание количества видов-доминантов (с 11 до 21) по сравнению с 1995 г., в основном, за счет цианобактерий (6 видов), что свидетельствует об ускорении процесса антропогенного эвтрофирования.

2. Высокое флористическое сходство доминирующего комплекса летнего фитопланктона (0,46–0,67) свидетельствует о значительной однородности его состава по всей акватории водохранилища, исключая Бердский залив.

3. В межгодовом аспекте отмечено постоянство доминирующего комплекса в верхней части водоема и Бердском заливе, в других частях

водохранилища состав доминирующего комплекса фитопланктона подвержен изменениям.

4. Максимальные показатели порядка, частоты доминирования и встречаемости характерны для диатомовой водоросли *Aulacoseira granulata*. Второе и третье место по значимости этих показателей доминирования занимают цианобактерия *Aphanizomenon flos-aquae* и диатомея *Stephanodiscus hantzschii*.

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

На формирование летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища оказывают влияние климатические и гидрологические факторы (температура воздуха и воды, количество осадков, сроки половодья и ледохода, сила и направление ветра). Они также определяют водность реки Оби и ее гидрохимический состав, влияющий на содержание химических элементов, которые будет использовать фитопланктон для своего развития. От климатических факторов зависят и гидрологические особенности самого водохранилища (уровневый режим, характер водообмена, ледотермический режим и береговая абразия), часть из которых в летнее время входит в число факторов, оказывающих ограничение на распространение цианобактерий, вызывающих «цветение воды» (течения, уровневый режим и ветро-волновые явления и его вытянутость в географическом расположении). Особую роль в развитии фитопланктона играют и внутриводоемные процессы (сорбции, десорбции, седиментации, выщелачивания), в ходе которых фитопланктон, участвуя в переработке и перераспределении минеральных и органических веществ, формирует органическое вещество водохранилища, изменяя показатели своего обилия. Неблагоприятные климатические условия (жаркое лето с недобором осадков и маловодность р. Оби в весенне-летний период) приводят к снижению уровня водохранилища, что создает условия для

максимального развития цианобактерий в нижней озеровидной части водохранилища (Кукси, 1973; Гидрометеорологический режим..., 1979; Двуреченская, 2006; Многолетняя динамика..., 2014).

Таким образом, на развитие летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища влияют множество факторов, но основная роль принадлежит климатическим, неблагоприятное сочетание которых (сухое и жаркое лето, малая водность р. Оби) и низкий уровень водохранилища способствует развитию цианобактерий, вызывающих «цветение» воды.

Лето 2016 г. характеризовалось теплой погодой с осадками различной интенсивности. Температура воздуха в августе регистрировалась выше нормы, а количество осадков соответствовало ей (Краткий обзор..., 2016).

Наибольшую численность фитопланктона на большинстве участков водохранилища (верхней и нижней частей) и биомассу (верхней, средней и нижней формируют виды рода *Aulacoseira* (1,02–5,02 млн кл./л 0,53–2,79 г/м<sup>3</sup>). Наибольшую долю численности (80 %) создает *Aulacoseira granulata*, достигая максимальных значений в верхней части водоема (2 створ), а биомассы – верхней части (3 створ). Минимальное обилие диатомей наблюдается в Бердском заливе.

По численности в верхней и средней частях водохранилища второе место занимают зеленые водоросли, за ними следуют цианобактерии, в нижней части водохранилища они меняются местами.

По биомассе вслед за диатомовыми в средней и нижней частях следуют зеленые водоросли, уступая цианобактериям в верхней части. В Бердском заливе максимальное обилие создают цианобактерии, а минимальное – зеленые водоросли. Минимальная численность цианобактерий отмечена на 2 створе (верхняя часть), а минимальные значения биомассы – на 6 створе (в нижней части). Максимальные значения биомассы у зеленых зарегистрировались на 4 створе, а максимальная численность – на 5 створе (в средней части).

Вклад в обилие фитопланктона прочих отделов был заметен только по биомассе в средней части водоема за счет развития крупноклеточных форм эвгленовых водорослей.

Наиболее обильными видами среди зеленых водорослей являются *Mucidospaerium pulchellum* (0,24 млн кл./л; 0,04 г/м<sup>3</sup>) и *Chlamydomonas sp.* (0,13–0,24 млн кл./л; 0,03–0,04 г/м<sup>3</sup>). Среди цианобактерий – *Aphanizomenon flos-aquae* (0,63–61,38 млн кл./л; 0,09–41,12 г/м<sup>3</sup>).

Колебания численности фитопланктона летом 2016 г. находились в пределах 1,75– 47,94 млн кл./л, а биомассы – от 0,80 до 27,30 г/м<sup>3</sup> (Михайлов и др., 2017, Михайлов, Баженова, 2019). Минимальная численность отмечалась на 5 створе, а минимальная биомасса – на 6 створе. Максимального обилия фитопланктон достигал в Бердском заливе (рис. 4.7–4.12; табл. 4.9; Прил. 2).

Летом 2017 г. наблюдался аномально жаркий июнь с недобором осадков, в июле и августе была неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры воздуха и осадками в пределах нормы (Государственный доклад..., 2018).

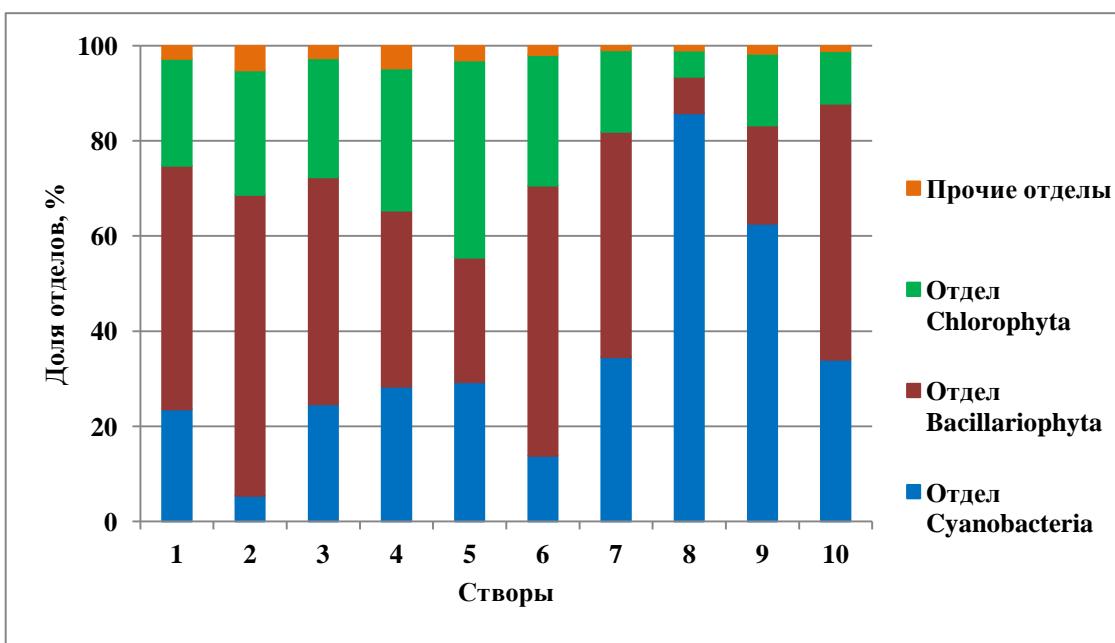


Рисунок 4.7 – Структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по численности, 6-9 августа 2016 г.

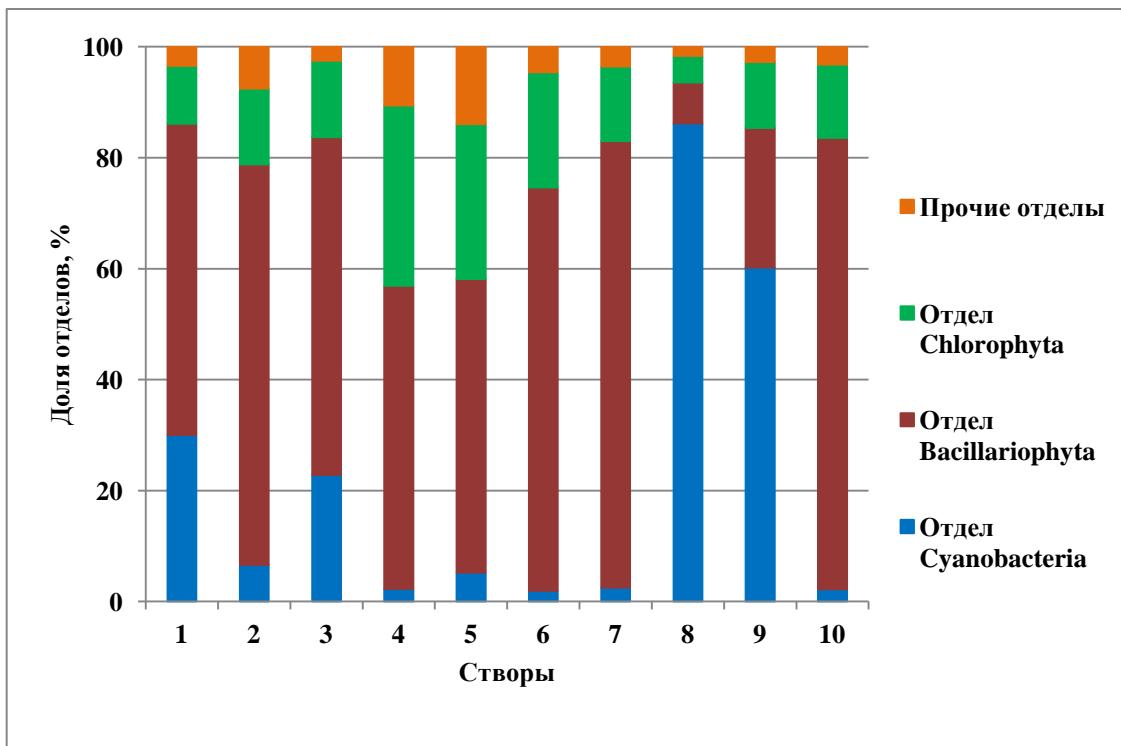


Рисунок 4.8 – Структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по биомассе, 6-9 августа, 2016 г.

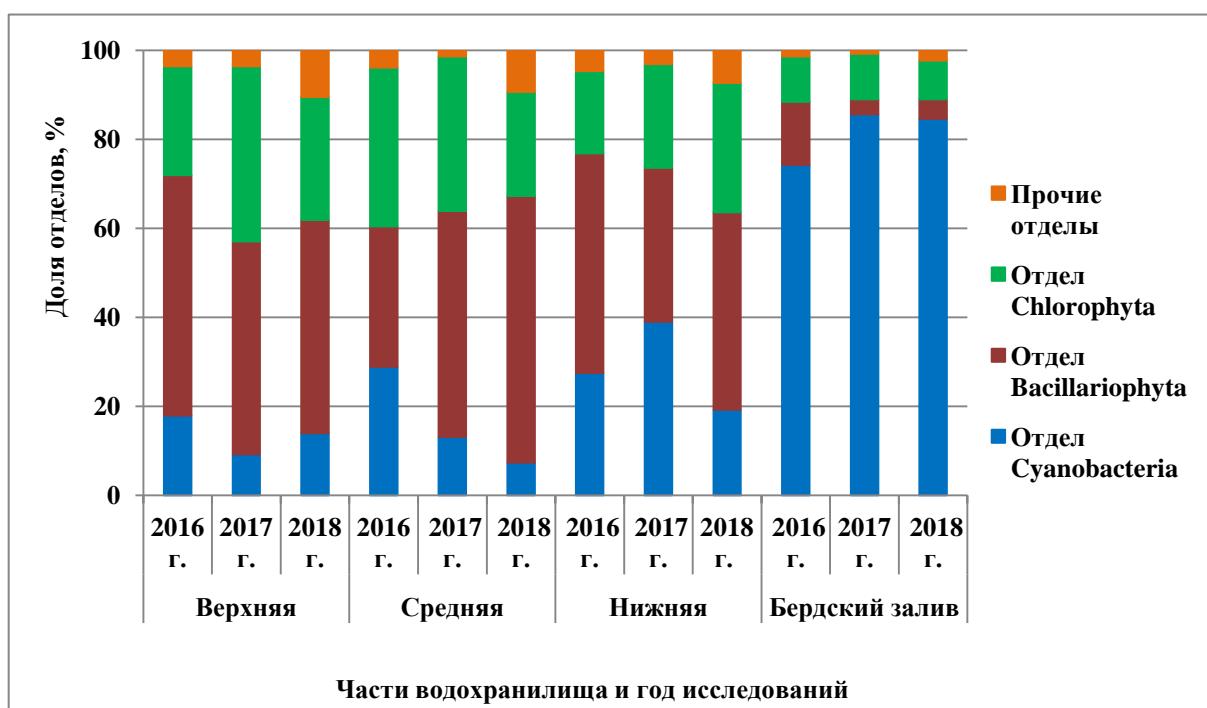


Рисунок 4.9 – Структура летнего фитопланктона по численности в разных частях Новосибирского водохранилища, июль-август 2016-2018 гг.

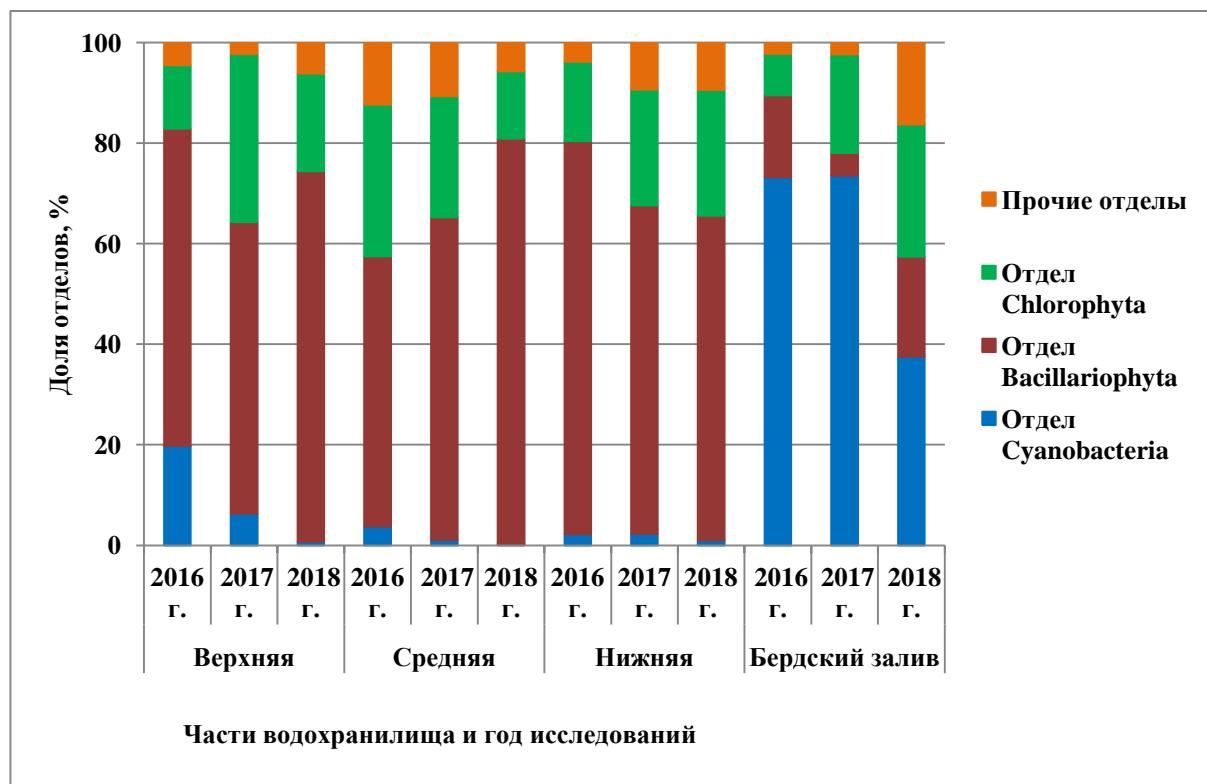


Рисунок 4.10 – Структура летнего фитопланктона по биомассе в разных частях Новосибирского водохранилища, июль-август 2016-2018 гг.

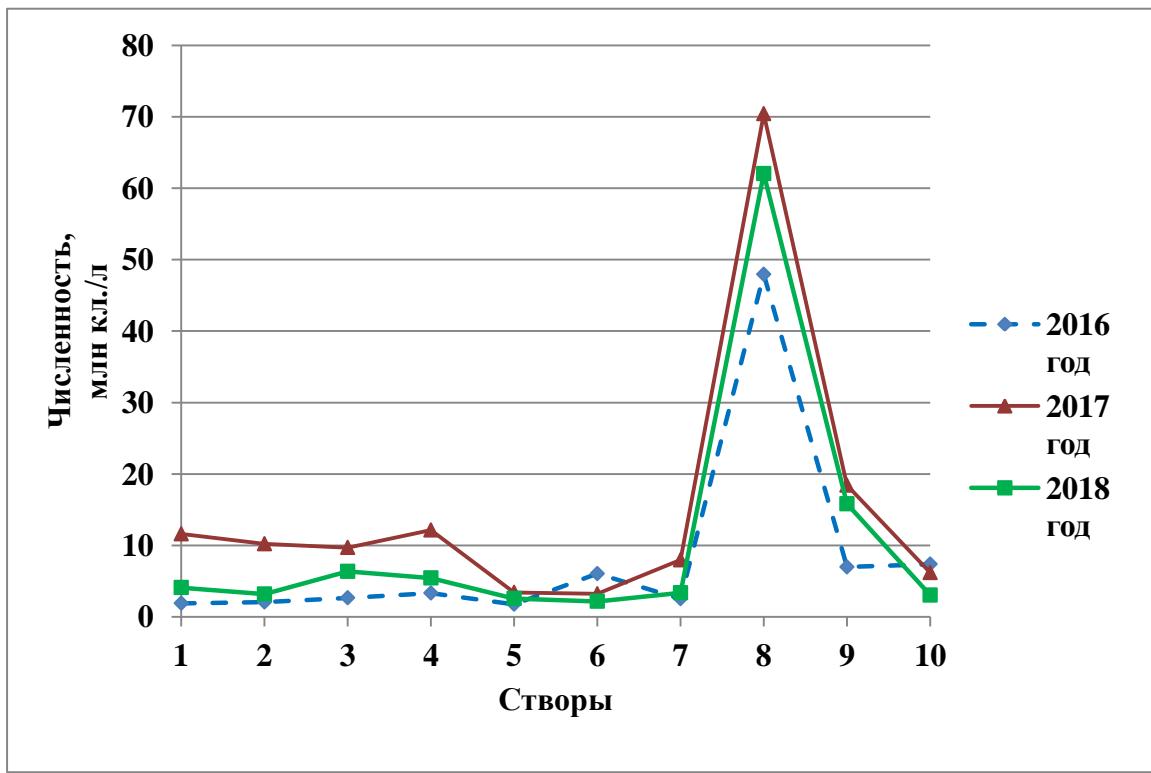


Рисунок 4.11 – Межгодовая динамика численности летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, июль-август 2016-2018 гг.

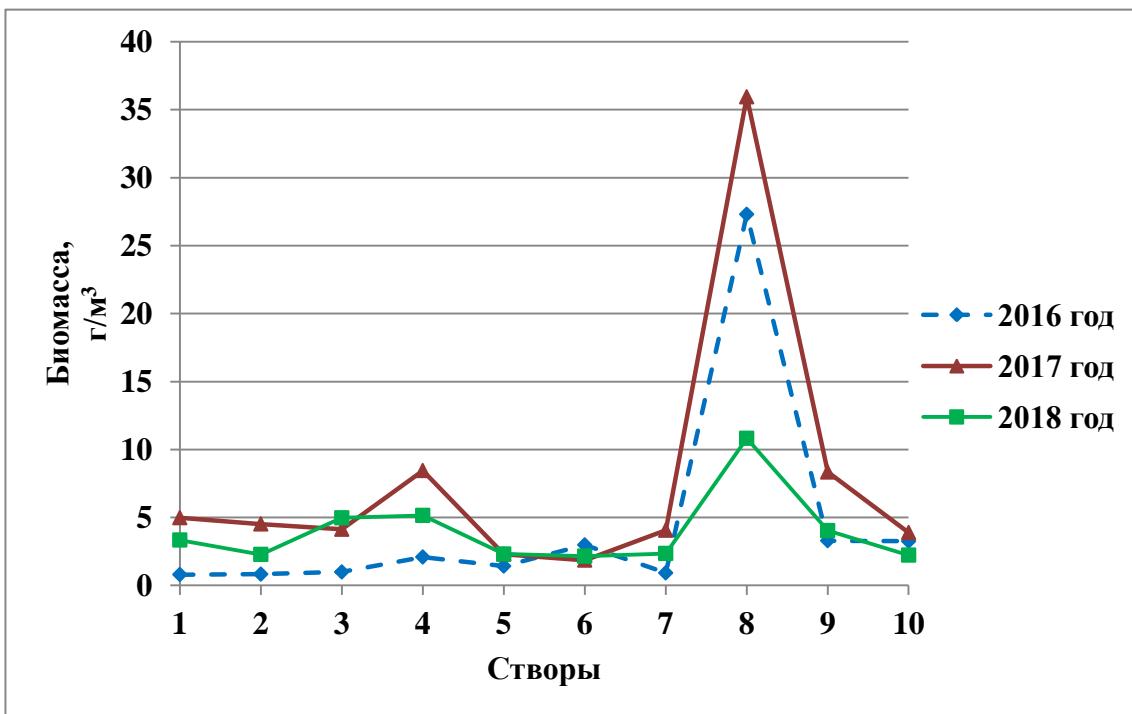


Рисунок 4.12 – Межгодовая динамика биомассы летнего фитопланктона

Новосибирского водохранилища, июль-август 2016-2018 гг.

Наибольшего обилия летом 2017 г. диатомовые водоросли достигали в верхней и средней частях водохранилища, а по биомассе – в нижней части водоема, минимальное их обилие наблюдалось в Бердском заливе. Максимальная численность диатомовых водорослей фиксировалась на 6 створе в нижней, а биомасса на 4 створе средней части водохранилища. Их основную массу составляли виды рода *Aulacoseira* (3,28–7,37 млн кл./л; 1,82–4,09 г/м<sup>3</sup>), в том числе 80 % численности формировали *Aulacoseira granulata* и *Stephanodiscus hantzschii* (0,81–1,34 млн кл./л; 0,60–1,84 г/м<sup>3</sup>). 8

Второе место по обилию в верхней и средней и по биомассе в нижней частях водохранилища занимали зеленые водоросли, в Бердском заливе отмечалось их минимальное обилие. Максимальное обилие зеленых водорослей регистрировалось на 3 створе в верхней части водоема. Среди видов этого отдела по обилию выделялся *Ulothrix zonata* (1,53–2,11 млн кл./л; 0,15–0,57 г/м<sup>3</sup>).

Таблица 4.9 – Численность и биомасса летнего фитопланктона  
Новосибирского водохранилища (6-9 августа 2016 г.)

Створы и части в-ща	Общая численность, млн. кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, % биомасса, %				
			Cyano-bacteria	Eugleno-phyta	Bacillario-phyta	Chlorophyta	Прочие
1	2	3	4	5	6	7	8
1 створ	1,89±0,18	0,80±0,06	<u>23,60±5,74</u> 30,05±8,57	<u>2,45±2,24</u> 3,37±0,69	<u>51,13±6,04</u> 6,09±7,95	<u>22,50±1,12</u> 10,41±2,09	<u>0,31±0,15</u> 0,07±0,06
2 створ	2,06±0,31	0,83±0,16	<u>5,44±4,31</u> 6,57±6,56	<u>3,86±3,01</u> 3,74±3,73	<u>63,19±3,76</u> 72,21±3,55	<u>26,16±4,13</u> 13,71±2,71	<u>1,36±0,94</u> 3,78±3,68
3 створ	2,65±0,23	0,99±0,13	<u>24,66±3,56</u> 22,78±5,04	<u>1,72±0,57</u> 1,76±0,86	<u>47,67±3,63</u> 60,92±5,34	<u>25,03±4,31</u> 13,79±2,82	<u>0,93±0,38</u> 0,75±0,46
Верхняя	2,20±0,18	0,91±0,06	<u>17,90±6,24</u> 19,80±6,94	<u>2,68±0,63</u> 2,96±1,73	<u>54,00±4,70</u> 63,07±4,78	<u>24,56±1,08</u> 12,64±1,11	<u>0,87±0,30</u> 1,53±1,14
4 створ	3,32±0,67	2,09±0,54	<u>28,33±4,88</u> 2,24±1,00	<u>2,87±0,52</u> 9,51±2,00	<u>36,99±3,70</u> 54,66±3,26	<u>29,89±3,22</u> 32,53±4,33	<u>0,43±0,11</u> 1,08±0,71
5 створ	1,75±0,86	1,42±1,03	<u>29,28±2,18</u> 5,22±0,94	<u>2,12±0,13</u> 11,55±8,96	<u>26,14±11,53</u> 52,92±14,46	<u>41,44±9,12</u> 27,91±5,42	<u>1,02±0,10</u> 2,41±0,87
Средн яя	2,54±0,78	1,76±0,34	<u>28,81±0,48</u> 3,73±1,49	<u>2,50±0,38</u> 10,53±1,02	<u>31,57±5,43</u> 53,79±0,87	<u>35,67±5,78</u> 30,22±2,31	<u>0,73±0,30</u> 1,75±0,67
6 створ	6,03±1,99	2,98±0,56	<u>13,80±8,00</u> 1,93±1,26	<u>1,55±0,22</u> 2,49±0,82	<u>56,78±0,40</u> 72,72±5,57	<u>27,44±8,05</u> 20,77±5,66	<u>0,44±0,14</u> 2,10±0,35
7 створ	2,53±0,42	0,92±0,08	<u>34,52±9,34</u> 2,51±0,42	<u>0,98±0,45</u> 3,48±1,66	<u>47,37±7,27</u> 80,47±2,85	<u>17,14±2,68</u> 13,46±1,72	–
10 створ	7,37±0,69	3,25±0,37	<u>34,00±6,56</u> 2,21±0,85	<u>1,00±0,17</u> 2,01±0,33	<u>53,80±6,94</u> 81,36±2,70	<u>11,02±0,64</u> 13,21±1,42	<u>0,18±0,13</u> 1,20±0,93
Нижн яя	5,31±1,18	2,38±0,60	<u>27,44±5,57</u> 2,22±0,14	<u>1,18±0,15</u> 2,66±0,35	<u>49,35±4,90</u> 78,18±2,24	<u>18,53±3,91</u> 15,81±2,02	<u>0,21±0,10</u> 1,10±0,50
8 створ	47,94±8,96	27,30±5,87	<u>85,78±3,60</u> 86,19±3,87	<u>0,61±0,12</u> 0,80±0,17	<u>7,70±2,42</u> 7,38±2,65	<u>5,49±1,32</u> 4,80±1,33	<u>0,42±0,06</u> 0,83±0,25

окончание таблицы 4.9

Створы и части в-ща	Общая численность, млн. кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, %				
			биомасса, %				
1	2	3	4	5	6	7	8
9 створ	6,97±1,56	3,29±1,06	<u>62,60±5,77</u> 60,19±7,25	<u>1,18±0,12</u> 1,24±0,40	<u>20,62±5,03</u> 25,19±5,95	<u>15,05±2,66</u> 11,85±4,47	<u>0,55±0,19</u> 1,59±0,86
Бердский залив	27,46±20,49	15,30±12,01	<u>74,19±11,59</u> 73,19±13,00	<u>0,90±0,29</u> 1,02±0,22	<u>14,16±6,46</u> 16,29±9,81	<u>10,27±4,78</u> 8,33±3,53	<u>0,49±0,07</u> 1,21±0,38
В целом по в-шу	9,38±5,25	5,09±3,42	<u>37,09±12,60</u> 24,74±16,63	<u>1,82±0,45</u> 4,29±2,12	<u>37,27±9,09</u> 52,83±13,18	<u>22,26±5,34</u> 16,75±4,74	<u>0,58±0,14</u> 1,40±0,15

Цианобактерии по численности преобладали в нижней части, а в верхней и средней занимали третье место. Третьего места по биомассе после зеленых водорослей они достигали в верхней части, а наибольшего обилия – в Бердском заливе. Их минимальная численность отмечалась на 4 створе, а биомасса на 5 створе в средней части водохранилища. Наибольшего обилия среди цианобактерий достигал *Aphanizomenon flos-aquae* (0,70–55,05 млн кл./л; 0,47–34,87 г/м<sup>3</sup>). Третье место по обилию в средней и нижней частях занимали виды других отделов, среди которых выделялись харовые водоросли за счет вегетации *Spirogyra sp.* (0,18–0,72 млн кл./л; 0,01–0,05 г/м<sup>3</sup>). 8

Численность фитопланктона летом 2017 г. была в пределах 3,21–70,42 млн кл./л, а биомасса – 1,86–35,94 г/м<sup>3</sup>. Минимальное обилие наблюдалась на 6 створе в нижней части водохранилища, а максимальное – в Бердском заливе (Михайлов, Котовщиков, 2017; Михайлов, Баженова, 2019) (рис. 4.9–4.14; табл. 4.10; Прил. 2).

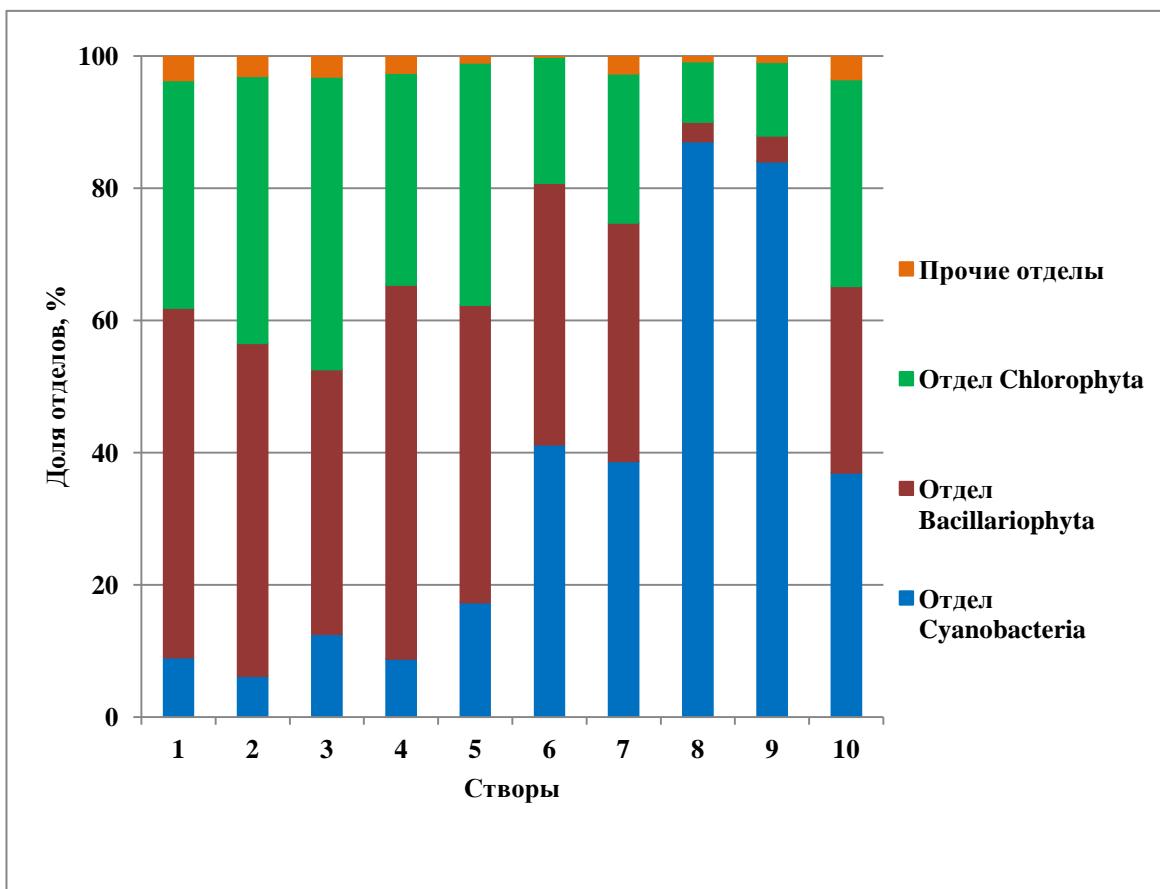


Рисунок 4.13 – Структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по численности, 15-17 августа 2017 г.

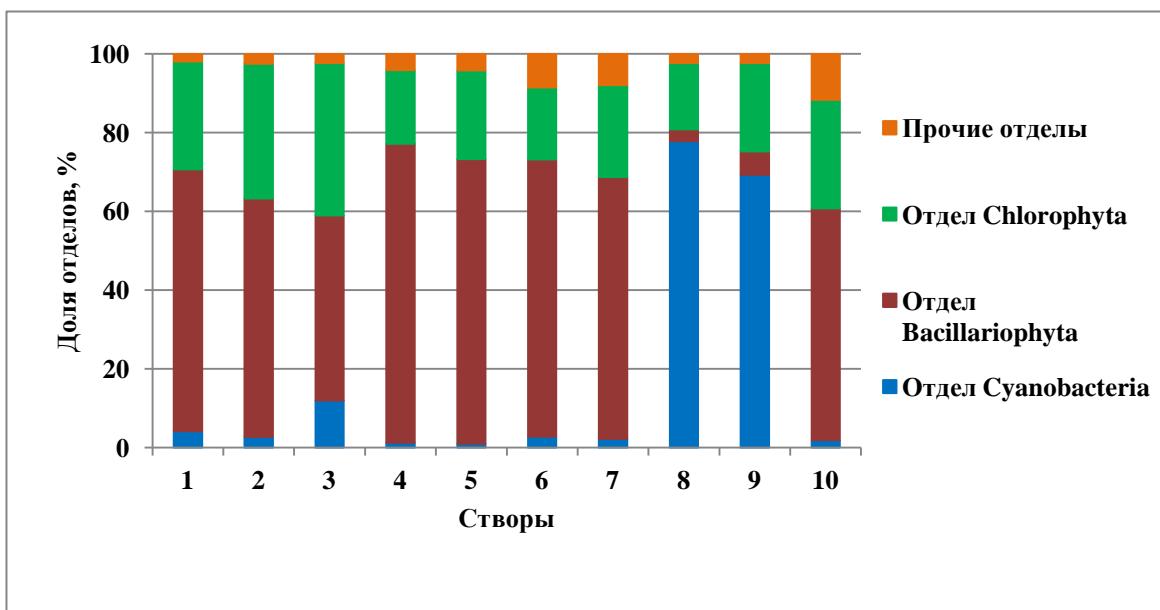


Рисунок 4.14 – Структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по биомассе, 15-17 августа 2017 г.

В 2018 г. регистрировалась теплая погода в июне и холодная в июле с частым выпадением ливневых осадков. Температура воздуха в течение лета находилась в пределах нормы. Осадки соответствовали многолетним данным и превышали их (Государственный доклад..., 2019).

Летом 2018 г. наибольшее обилие во всех частях водохранилища создавали диатомовые водоросли. Среди них преобладали виды родов *Aulacoseira* (2,12–2,68 млн кл./л; 1,18–1,46 г/м<sup>3</sup>) и *Stephanodiscus* (1,15–1,24 млн кл./л; 2,61–2,81 г/м<sup>3</sup>), среди которых 80 и 75 % численности формировали виды *Aulacoseira granulata* и *Stephanodiscus hantzschii* соответственно. Максимальная численность диатомовых водорослей зафиксирована на 5 створе, а биомасса – на 4 створе в средней части водохранилища, а минимальное их обилие отмечено в Бердском заливе.

Таблица 4.10 – Численность и биомасса летнего фитопланктона

Новосибирского водохранилища (15-17 августа 2017 г.)

Створы и части в-ща	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, % биомасса, %				
			Cyano-bacteria	Eugleno-phyta	Bacillario-phyta	Chlorophyta	Прочие
1	2	3	4	5	6	7	8
1 створ	11,60±0,91	4,98±0,34	<u>9,00±2,41</u> 4,11±0,88	<u>3,48±0,29</u> 1,32±0,32	<u>52,90±2,63</u> 66,54±3,63	<u>34,42±2,19</u> 27,39±3,71	<u>0,27±0,06</u> 0,63±0,28
2 створ	10,21±0,12	4,52±0,25	<u>6,17±0,07</u> 2,69±0,30	<u>2,78±0,42</u> 1,78±0,10	<u>50,40±0,01</u> 60,58±1,59	<u>40,37±0,48</u> 34,22±1,65	<u>0,29±0,13</u> 0,74±0,35
3 створ	9,70±1,46	4,13±0,61	<u>12,50±2,56</u> 11,95±3,92	<u>3,84±0,55</u> 2,09±0,23	<u>40,06±1,52</u> 47,01±4,29	<u>44,29±3,35</u> 38,70±2,47	<u>0,16±0,06</u> 0,26±0,09
Верхняя	10,50±0,46	4,54±0,20	<u>9,22±1,49</u> 6,25±2,35	<u>3,37±0,25</u> 1,73±0,18	<u>47,79±3,21</u> 58,04±4,72	<u>39,69±2,34</u> 33,44±2,68	<u>0,24±0,03</u> 0,54±0,12
4 створ	12,14±1,05	8,52±0,78	<u>8,79±2,31</u> 1,20±0,47	<u>2,44±0,30</u> 3,83±0,39	<u>56,60±3,17</u> 75,99±1,04	<u>32,03±1,15</u> 18,68±0,99	<u>0,14±0,04</u> 0,30±0,08

окончание таблицы 4.10

Створы и части в-ща	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, %				
			биомасса, %				
1	2	3	4	5	6	7	8
5 створ	3,41±0,79	2,30±0,48	<u>17,34±4,38</u> 0,93±0,31	<u>2,70±0,56</u> 3,36±0,81	<u>44,96±2,70</u> 72,33±1,24	<u>36,70±3,85</u> 22,49 ±1,03	<u>0,30±0,18</u> 0,90±0,49
Средн яя	7,78±3,09	5,41±2,20	<u>13,07±3,02</u> 1,07±0,10	<u>2,57±0,09</u> 3,60±0,17	<u>50,78±4,12</u> 64,16±5,78	<u>34,74±1,65</u> 24,09±3,82	<u>0,22±0,06</u> 0,60±0,21
6 створ	3,21±0,53	1,86±0,07	<u>41,21±8,29</u> 2,75±1,72	<u>2,29±1,14</u> 4,81±2,00	<u>39,56±4,14</u> 70,74±4,36	<u>19,08±1,49</u> 18,30±0,41	<u>1,15±0,24</u> 3,40±0,39
7 створ	7,96±1,86	4,06±0,43	<u>38,67±9,81</u> 2,15±0,98	<u>2,14±0,35</u> 5,88±0,70	<u>36,11±8,47</u> 66,51±5,86	<u>22,54±2,83</u> 23,35±3,68	<u>0,55±0,12</u> 2,32±0,71
10 створ	6,18±1,05	3,89±0,25	<u>36,93±8,45</u> 1,85±0,28	<u>2,63±0,22</u> 8,89±3,38	<u>28,27 ±5,41</u> 58,89±2,05	<u>31,28±5,51</u> 27,53±4,46	<u>0,89±0,20</u> 2,84±0,77
Нижн яя	5,78±1,13	3,27±0,58	<u>38,94±1,01</u> 2,25±0,22	<u>2,35±0,12</u> 6,53±1,00	<u>34,65±2,73</u> 65,38±2,83	<u>23,30±2,96</u> 22,99±2,18	<u>0,86±0,14</u> 2,85±0,25
8 створ	70,42±8,27	35,94±4,69	<u>87,09±1,05</u> 77,77±1,41	<u>0,62±0,16</u> 1,78±0,59	<u>2,92±0,66</u> 3,04±0,77	<u>9,16±0,42</u> 16,86±0,45	<u>0,22±0,04</u> 0,55±0,17
9 створ	18,42±0,72	8,34±0,88	<u>84,02±0,86</u> 69,28±6,47	<u>0,87±0,30</u> 1,09±0,26	<u>3,92±0,97</u> 5,96±1,31	<u>11,16±1,13</u> 22,40±6,86	<u>0,29±0,09</u> 0,88±0,22
Бердс кий залив	44,42±18,38	22,14±9,76	<u>85,56±1,09</u> 73,53±3,00	<u>0,75±0,09</u> 1,44±0,24	<u>3,42±0,35</u> 4,50±1,03	<u>10,16±0,71</u> 19,63±1,96	<u>0,26±0,02</u> 0,72±0,12
В целом по в-шу	17,12±9,15	5,42±1,54	<u>45,86±18,37</u> 25,62±17,82	<u>1,89±0,50</u> 3,86±1,17	<u>29,62±12,04</u> 44,68±14,60	<u>22,73±6,15</u> 22,24±2,96	<u>0,45±0,18</u> 1,39±0,56

Второе место по обилию во всех частях водоема и по биомассе в Бердском заливе занимали зеленые водоросли, минимальное обилие которых наблюдалось в Бердском заливе. Их максимальное обилие отмечалось на 10 створе в нижней части водохранилища. Наибольшего обилия достигала

зеленая водоросль *Mucidospherium pulchellum* (0,23–0,71 млн кл./л; 0,04–0,12 г/м<sup>3</sup>).

За зелеными водорослями по численности следовали цианобактерии, максимальное обилие которых было зафиксировано в Бердском заливе. Их минимальная численность отмечалась на 4 створе средней части. Среди цианобактерий по обилию выделялась *Aphanizomenon flos-aquae* (0,36–69,45 млн кл./л; 0,04–8,13 г/м<sup>3</sup>).

Прочие отделы занимали третье место по биомассе во всех частях водохранилища и по численности – в средней части за счет вегетации *Spirogyra sp.* (0,45–0,93 млн кл./л; 0,03–0,05 г/м<sup>3</sup>) и уменьшения биомассы цианобактерий, вызванном неблагоприятными условиями их развития (теплым июнем и прохладным августом 2018 г.).

Общая численность фитопланктона летом 2018 г. колебалась в пределах 2,17–62,03 млн кл./л, а биомасса – от 2,15 до 10,82 г/м<sup>3</sup>. Минимальное обилие наблюдалось на 6 створе нижней части водохранилища, а максимальное в Бердском заливе (рис. 4.9–4.16; табл. 4.11; Прил. 2).

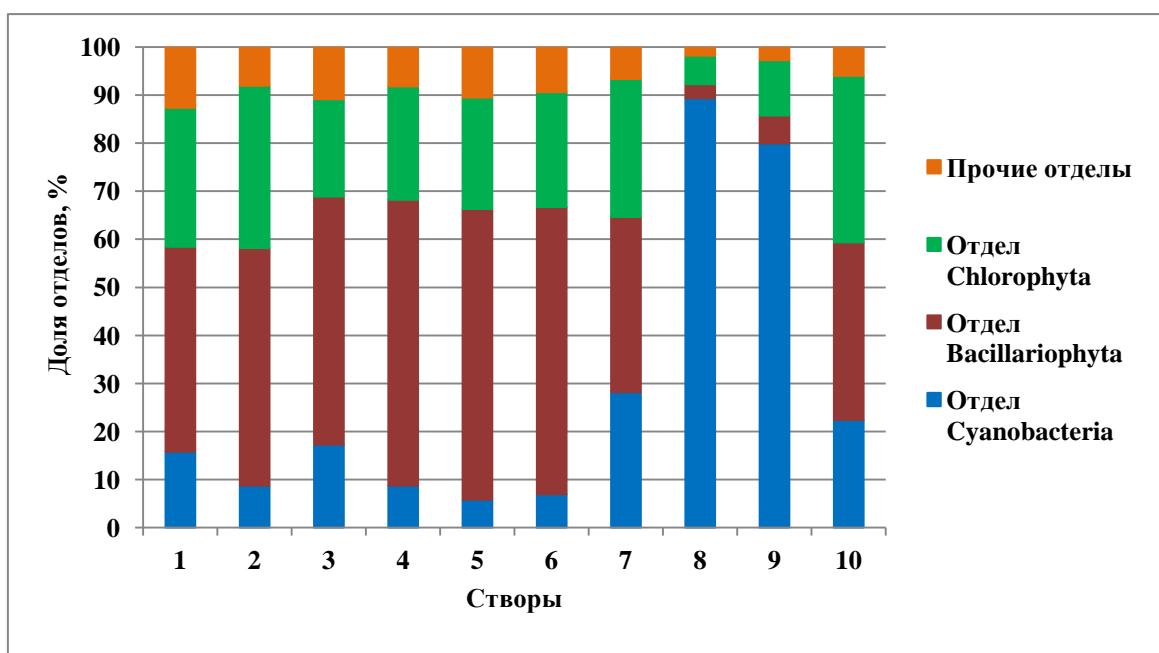


Рисунок 4.15 – Структура летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища по численности, 25-30 июля 2018 г.

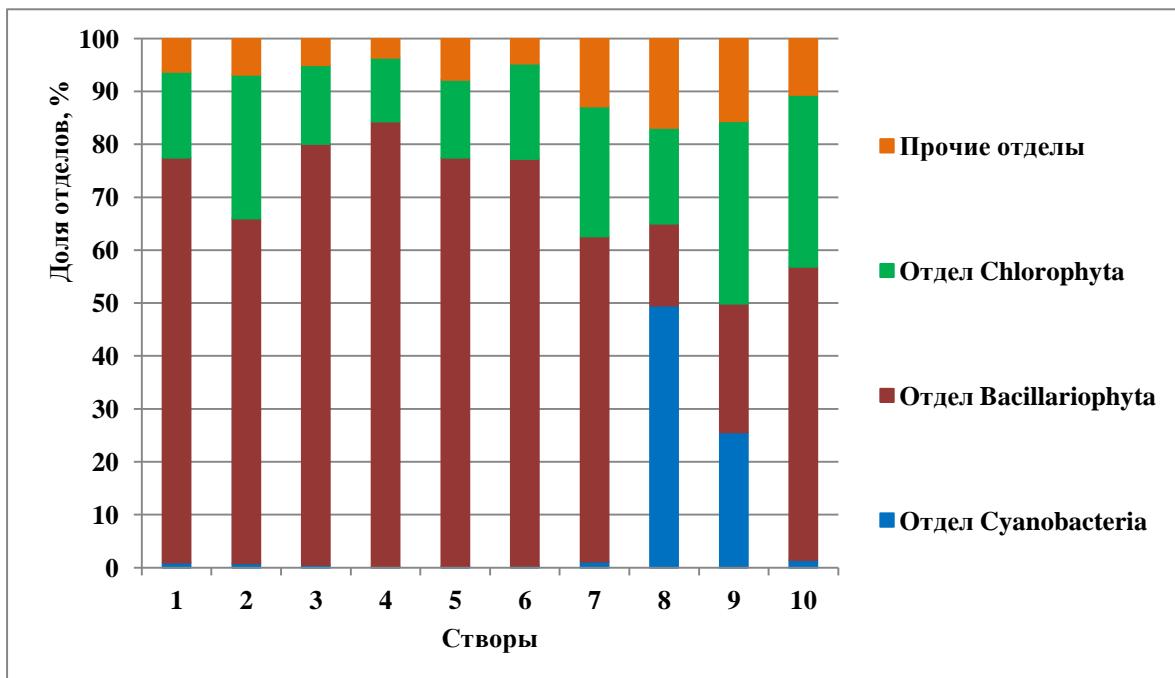


Рисунок 4.16 – Структура фитопланктона Новосибирского водохранилища по биомассе, 25-30 июля 2018 г.

Межгодовая динамика численности летнего фитопланктона по акватории водохранилища в 2016–2018 гг. характеризуется существенными различиями. В 2016 г. численность колебалась в пределах 1,75–7,37 млн. кл./л, в 2017 г. пределы колебаний возросли от 3,21 до 12,14 млн кл./л, а в 2018 г. вернулись к показателям близким к 2016 г. (2,17–6,35 млн кл./л) (рис. 4.11)

Аналогичная зависимость наблюдалась и для межгодовой динамики биомассы летнего фитопланктона в 2016–2018 гг. (Михайлов, Баженова, 2019). В 2016 г. биомасса фитопланктона колебалась в пределах от 0,80 до 3,25 г/м<sup>3</sup>. В 2017 г. границы колебаний возрастали от 2,30 до 8,45 г/м<sup>3</sup>, а в 2018 г. были близки к пределам 2016 г. – 2,15–5,15 г/м<sup>3</sup>, что свидетельствует об одинаковых условиях развития фитопланктона в 2016 и 2018 гг. (рис. 4.12; Прил. 2).

По климатическим данным (температура воздуха и осадки) лето 2018 года было наименее благоприятно для развития фитопланктона, по сравнению с 2016 и 2017 гг.

Таблица 4.11 – Численность и биомасса летнего фитопланктона  
Новосибирского водохранилища (25-30 июля 2018 г.)

Створы и части в-ща	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, % биомасса, %				
			Cyano-bacteria	Eugleno-phyta	Bacillario-phyta	Chloro-phyta	Прочие
1	2	3	4	5	6	7	8
1 створ	4,09±0,19	3,34±0,25	<u>15,78±2,89</u> 0,93±0,31	<u>4,53±0,90</u> 4,75±1,03	<u>42,66±2,26</u> 76,54±1,86	<u>28,87±4,22</u> 16,21±1,79	<u>8,16±1,70</u> 1,57±0,24
2 створ	3,18±0,24	2,28±0,05	<u>8,73±4,68</u> 0,83±0,37	<u>5,34±0,04</u> 5,72±0,13	<u>49,41±7,05</u> 65,16±6,96	<u>33,80±13,45</u> 27,15±6,98	<u>2,73±1,68</u> 1,15±0,48
3 створ	6,35±0,49	4,97±0,46	<u>17,27±2,94</u> 0,50±0,12	<u>3,47±0,48</u> 3,99±0,48	<u>51,62±1,96</u> 79,27±1,15	<u>20,20±2,17</u> 14,86±1,05	<u>7,44±1,91</u> 1,39±0,31
Верхняя	4,54±0,77	3,53±0,64	<u>13,93±2,15</u> 0,75±0,11	<u>4,45±0,44</u> 4,82±0,41	<u>47,90±2,20</u> 73,66±3,53	<u>27,62±3,25</u> 19,41±3,18	<u>6,11±1,39</u> 1,37±0,10
4 створ	5,43±0,44	5,15±0,57	<u>8,77±3,74</u> 0,22±0,07	<u>2,69±0,55</u> 2,93±0,58	<u>59,46±2,27</u> 84,07±1,53	<u>23,56±2,20</u> 12,07±0,92	<u>5,61±1,61</u> 0,72±0,17
5 створ	2,56±0,59	2,31±0,61	<u>5,85±2,96</u> 0,30±0,11	<u>5,38±1,60</u> 4,17±1,12	<u>60,41±4,92</u> 77,17±8,02	<u>23,21±1,73</u> 14,73±4,40	<u>5,15±2,27</u> 3,63±2,54
Средняя	4,00±1,01	3,73±1,00	<u>7,31±1,03</u> 0,26±0,03	<u>4,04±0,95</u> 3,55±0,44	<u>59,94±0,34</u> 80,62±2,44	<u>23,39±0,12</u> 13,40±0,94	<u>5,38±0,16</u> 2,18±1,03
6 створ	2,17±0,24	2,15±0,37	<u>6,95±4,94</u> 0,33±0,21	<u>3,41±0,97</u> 2,84±0,51	<u>59,74±4,83</u> 76,93±2,97	<u>23,90±2,64</u> 18,03±3,20	<u>5,99±2,25</u> 1,88±0,46
7 створ	3,36±0,36	2,35±0,18	<u>28,21±7,59</u> 1,13±0,21	<u>5,03±0,35</u> 9,45±1,05	<u>36,43±7,76</u> 61,45±5,12	<u>28,65±4,07</u> 24,55±3,54	<u>1,68±0,28</u> 3,43±0,53
10 створ	3,03±0,27	2,23±0,25	<u>22,40±5,43</u> 1,43±0,69	<u>4,07±0,38</u> 6,04±1,11	<u>36,94±3,97</u> 55,40±2,30	<u>34,67±4,91</u> 32,49±3,01	<u>1,92±0,25</u> 4,64±0,59
Нижняя	2,85±0,29	2,28±0,03	<u>19,19±5,18</u> 0,96±0,27	<u>4,17±0,38</u> 6,11±1,56	<u>44,37±6,28</u> 64,59±5,23	<u>29,06±2,54</u> 25,02±3,41	<u>3,20±1,14</u> 3,32±0,65
8 створ	62,03±14,41	10,82±1,09	<u>89,29±2,59</u> 49,55±9,85	<u>0,78±0,27</u> 14,42±6,21	<u>2,93±1,14</u> 15,46±3,09	<u>5,95±1,29</u> 18,10±3,15	<u>1,05±0,28</u> 2,47±0,54

## окончание таблицы 4.11

Створы и части в-ща	Общая численность, млн кл./л	Общая биомасса, г/м <sup>3</sup>	Численность, % биомасса, %				
			Cyano-bacteria	Eugleno-phyta	Bacillario-phyta	Chlorophyta	Прочие
1	2	3	4	5	6	7	8
9 створ	15,81±2,10	4,03±0,36	<u>79,91±1,74</u> 25,54±5,72	<u>0,74±0,16</u> 10,43±5,38	<u>5,79±1,05</u> 24,32±1,68	<u>11,52±0,92</u> 34,50±3,76	<u>2,03±0,82</u> 5,21±1,65
Бердский залив	38,92±16,34	7,43±2,40	<u>84,60±3,32</u> 37,53±8,50	<u>0,76±0,01</u> 12,43±1,41	<u>4,36±0,01</u> 19,89±3,13	<u>8,74±1,97</u> 26,30±5,80	<u>1,54±0,35</u> 3,84±0,97
В целом по в-шу	12,58±7,61	4,24±0,96	<u>31,26±15,54</u> 9,88±7,98	<u>3,36±0,75</u> 6,73±1,71	<u>39,14±10,45</u> 57,94±13,31	<u>22,20±4,02</u> 21,03±2,56	<u>4,06±0,90</u> 2,68±0,48

Лето 2017 года по водности и климатическим особенностям способствует наибольшему развитию водорослей и цианобактерий, чем в 2016 году. Именно климатическими условиями можно объяснить минимальную биомассу цианобактерий, отмеченную в Новосибирском водохранилище летом 2018 г., что демонстрирует структура биомассы фитопланктона в частях водохранилища (см. рис. 4.10). В 2017 г. благоприятные, по сравнению с 2016 и 2018 гг., условия вызвали повышение обилия фитопланктона по всей акватории водохранилища (рис. 4.11, 4.12; Прил. 2).

Таким образом, распределение численности и биомассы фитопланктона по продольной оси водохранилища отличается неоднородностью и имеет существенные межгодовые различия. Указанное явление характерно для водных объектов, в которых наблюдается высокий уровень антропогенного эвтрофирования (Трифонова, 1990; Баженова, 2005). Особое место занимает Бердский залив, в котором наблюдаются максимальные показатели обилия фитопланктона, обусловленные «цветением» цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae* (табл. 4.12) (Михайлов, Баженова, 2019).

Таблица 4.12 – Средняя численность и биомасса летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища, июль-август 2016–2018 гг.

Части водохранилища	Средняя численность, млн кл./л			Средняя биомасса, г/м <sup>3</sup>		
	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 в-щу	9,38±5,25	17,12±9,15	12,58±7,61	5,09±3,42	5,89±1,54	4,24±0,96

Значения коэффициента Манна-Уитни ( $U$ ) ( $U_{\phi}=11$ ,  $U_{st}=16$ ;  $U_{\phi} \leq U_{st}$ ) при уровне значимости  $p \leq 0,05$  подтверждает достоверность различий между выборками численности и биомассы для 10 створов акватории водохранилища.

Вертикальное распределение фитопланктона Новосибирского водохранилища связано с влиянием течения в его верхней, средней и ветро-нагонных явлениях в нижней озеровидной частях. В штилевую погоду главную роль играют особенности распределения самого фитопланктона: цианобактерии располагаются на поверхности воды, диатомовые и зеленые – равномерно распределены в ее толще (Куксн, 1964, Удилова, 1965).

Во всех частях Новосибирского водохранилища, исключая Бердский залив, вертикальное распределение летнего фитопланктона в 2016–2018 гг. по фотическим горизонтам отличается своей неравномерностью, что объясняется высокой проточностью водоема. В верхней части в толще воды первое и второе места по численности занимали диатомовые (4,34 млн кл./л) и зеленые водоросли (2,71 млн кл./л), а третье – цианобактерии (1,34 млн кл./л). В средней и нижней частях водохранилища доля цианобактерий по фотическим горизонтам возрастает (1,60–2,16 млн кл./л), а зеленых и диатомовых водорослей (2,51–1,11 и 3,69–1,94 млн кл./л) уменьшается. В верхней части водоема максимальное развитие фитопланктона наблюдалось на глубине фотического слоя 1S, в средней – на глубине фотического

горизонта 2S, в нижней – на поверхности воды и глубине фотического слоя 1S. В Бердском заливе при слабом течении и домировании цианобактерий на поверхности воды отмечалось равномерное распределение фитопланктона с убыванием по глубине (Михайлов, Баженова, 2019) (рис. 4.17).

Таким образом, в распределении обилия летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг. выявлены следующие особенности:

1. На большей части акватории водохранилища, исключая Бердский залив, основную долю численности и биомассы фитопланктона формируют диатомовые водоросли, второе место занимают зеленые водоросли, третье – цианобактерии. В Бердском заливе максимальную численность и биомассу фитопланктона образуют цианобактерии, второе место в создании биомассы занимают зеленые водоросли. Доля остальных отделов водорослей в формировании обилия фитопланктона незначительна.

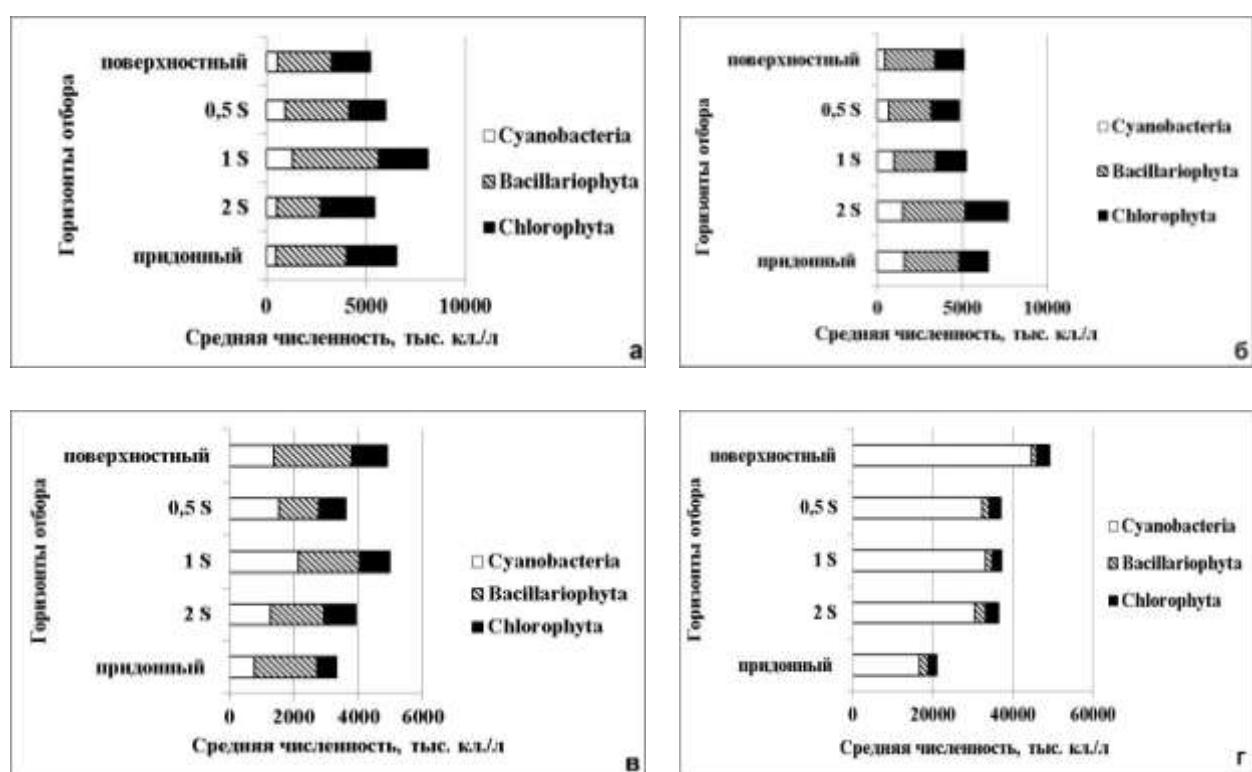


Рисунок 4.17 – Вертикальное распределение основных отделов летнего фитопланктона в разных частях Новосибирского водохранилища, 2016–2017 гг. а – верхняя, б – средняя, в – нижняя часть водоема, г – Бердский залив.

2. По акватории водохранилища отмечались межгодовые колебания обилия летнего фитопланктона, вызванные различными абиотическими факторами (температура воздуха, количество осадков, водность года), влияющими на его развитие.

3. Распределение численности и биомассы фитопланктона по продольной оси водохранилища отличается неоднородностью и имеет существенные межгодовые различия. В Бердском заливе отмечены максимальные показатели обилия фитопланктона, обусловленные «цветением» цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae*.

4. Вертикальное распределение летнего фитопланктона, исключая Бердский залив, характеризуется неравномерностью. В толще воды в верхней зоне водоема наибольшую долю по численности занимали диатомовые (4,34 млн кл./л) и зеленые (2,71 млн кл./л) водоросли. В средней и нижней частях водохранилища происходило снижение доли диатомей и зеленых водорослей (3,69–1,94 и 2,51–1,11 млн кл./л) и увеличение доли цианобактерий (1,60–2,16 млн кл./л). Максимальное развитие фитопланктона в верхней части отмечено на глубине 1S, в средней – на глубине 2S, а в нижней части – на поверхности воды и фотическом слое 1S. В Бердском заливе наблюдается равномерное распределение фитопланктона по глубине с уменьшением от поверхности к дну.

5. Бердский залив следует рассматривать как обособленный участок водохранилища, обладающий особыми физико-химическими и гидрологическими характеристиками (отсутствие течения и ветроволнового перемешивания, слабый водообмен) и высокими показателями обилия фитопланктона вследствие вегетации цианобактерии *Aphanizomenon flos-aquae*.

#### 4.5. Суточная динамика фитопланктона

Летом 2013–2015 гг. в Бердском заливе Новосибирского водохранилища впервые были проведены исследования динамики развития фитопланктона в течение суток в зарослях макрофитов и в открытой лitorали. Суточная динамика фитопланктона способна охарактеризовать его состояние за короткий период времени. В диссертации рассматриваются результаты исследований суточной динамики численности летнего фитопланктона в 2013–2015 гг. и биомассы – в 2015 г. (Михайлов и др., 2016; Влияние абиотических..., 2019).

Изменение обилия фитопланктона в течение суток связано с процессами фотосинтеза и дыхания, определяемыми освещенностью поверхности воды и ее температурой, при которых в светлое время суток его численность и биомасса возрастают, а ночью – убывают. Кроме того, на суточную динамику влияют циркадные (эндогенные и экзогенные) ритмы различных видов фитопланктона, способствующие их вертикальной миграции на поверхность воды днем и опускания в толщу воды ночью (Филимонов, Садовская, 2006; Трофимова, Макаревич, 2009; Георгиева, 2012; Михайлов и др., 2016; Котовщиков, Долматова, 2018).

В открытой лitorали залива и в зарослях макрофитов создаются условия со своеобразным сочетанием физико-химических факторов, влияющих не только на зоопланктон, но и на его основную пищу – фитопланктон. Заросли макрофитов способствуют уменьшению течения воды и снижению влияния ветро-нагонных явлений. Температура воды в Бердском заливе в течение суток на открытой лitorали в среднем была ниже, чем в зарослях высших водных растений, достигая минимальных значений ночью, а максимальных – в 3 и 6 часов дня (рис. 4.18, *a–e*).

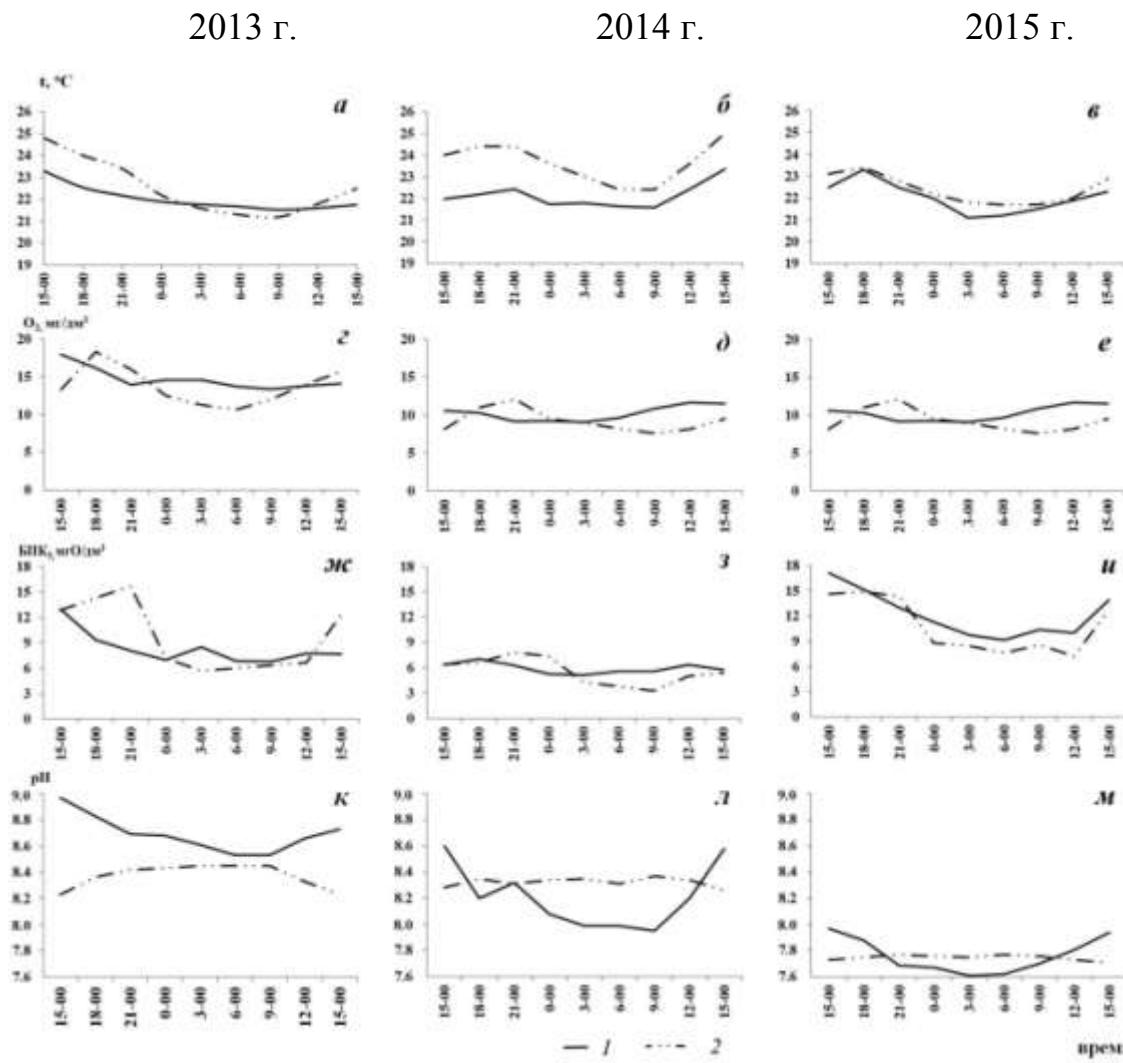


Рисунок 4.18 – Суточный ход температуры воды (*а–в*), концентрации кислорода (*г–е*), БПК<sub>5</sub> (*ж–и*) и рН (*к–м*) в поверхностном слое воды в Бердском заливе Новосибирского водохранилища в 2013–2015 гг. : 1 – открытая литораль, 2 – заросли макрофитов.

Концентрация кислорода в зарастающей части водоема была выше, чем в открытой в дневное время (с 6 часов дня до 12 часов ночи), достигая максимальных значений в 6 и 9 часов дня, а минимальных – в 6 и 9 часов утра. В остальное время суток содержание растворенного кислорода в открытой литорали выше, чем в зарослях макрофитов, имея максимум в 3 часа дня, а минимум – в 9 часов вечера (рис. 4.18, *г–е*). Величина БПК<sub>5</sub> (легко окисляемые органические загрязнения) в зарослях макрофитов была выше, чем на открытой литорали водохранилища в дневное время (с 3 часов дня до 12 часов ночи (2013 г.) и с 6 часов дня до 3 часов ночи (2014 г.), имея

максимум в 9 часов вечера, а минимума – в 3 часа ночи (2013 г.) и 9 часов утра (2014 г.). В ночное время и днем следующего дня (с 12 часов ночи и до 3 часов дня) значения БПК<sub>5</sub> на станции без макрофитов находились выше, чем в ее зарастающей части, достигая минимальных отметок в 12 часов ночи, а максимальных – в 3 часа ночи и 12 часов утра (2013–2014 гг.). В 2015 г. концентрация органических веществ в открытой литорали была выше, чем в заросшей (рис. 4.18, ж–и). Значения pH на зарастающей литорали в 2014–2015 гг. были выше, чем в открытой части водоема, имея максимум в 9 часов утра, а минимум – в 3 часа дня, кроме 2013 г., когда они были ниже (рис. 4.18, к–л) (Ермолаева и др., 2016; Влияние абиотических..., 2019).

По нашим исследованиям в 2013–2015 г. в суточных пробах Бердского залива в открытой литорали и в зарослях макрофитов было найдено 122 ВВТ 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 ВВТ) было несколько выше, чем в открытой литорали (70 ВВТ) (Михайлов и др., 2016; Влияние абиотических..., 2019).

По численности фитопланктона как в открытой литорали, так и в зарослях макрофитов доминировали цианобактерии *Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae*, *Dolichospermum scheremetievae*, *Aphanocapsa holsatica*, *Microcystis aeruginosa*, *Planktolyngbya limnetica*. За ними следовали зеленые водоросли, среди которых наибольшей численностью и биомассой обладали *Phacotus lenticularis*, *Monoraphidium contortum*, *Mucidosphaerium pulchellum* и харовые – *Spirogyra* sp. Остальные отделы не вносят значимого вклада в обилие фитопланктона

Численность фитопланктона, как в открытой, так и в зарастающей литорали залива существенно изменялась в течение суток, причем в зарослях макрофитов отмечены более высокие показатели, чем в открытой литорали. В вечерние иочные часы численность фитопланктона снижается и

возрастает в светлое время суток до максимальных значений к 3 часам дня (рис. 4.19, *a–e*). (Влияние абиотических..., 2019).

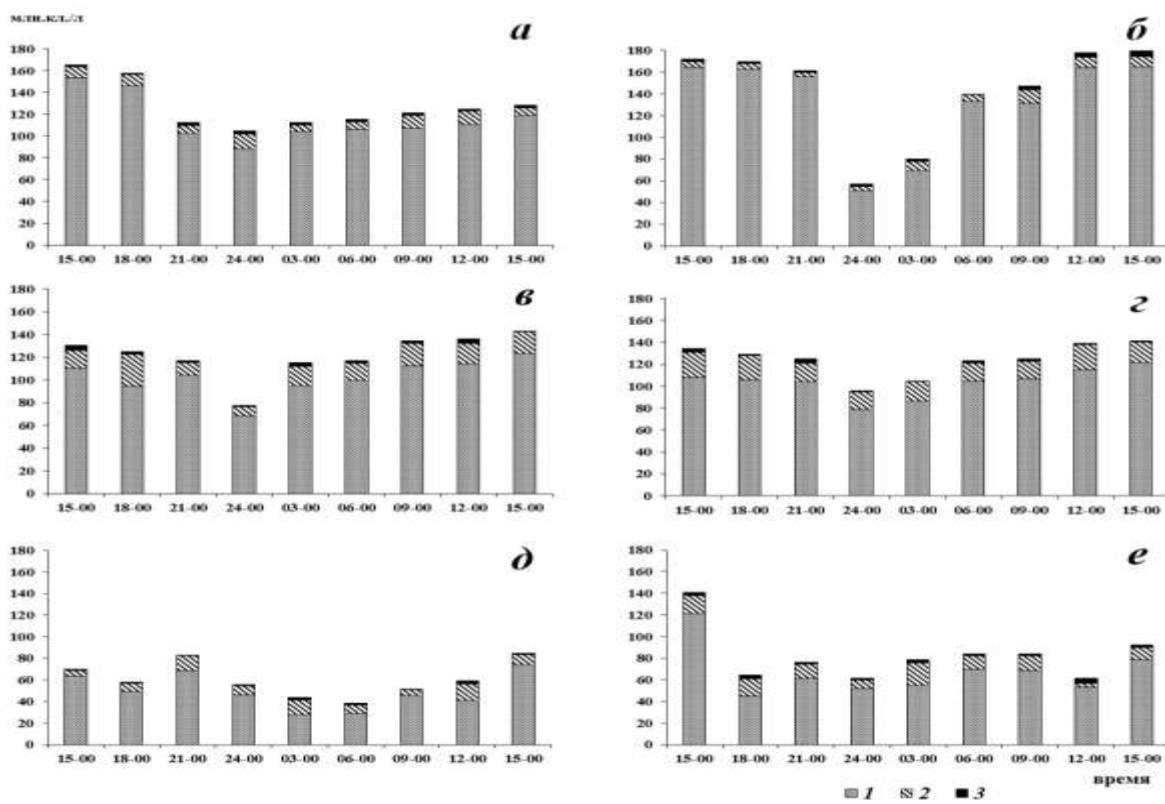


Рисунок 4.19 – Суточная динамика численности фитопланктона (млн кл./л) в открытой и заросшей литорали Новосибирского водохранилища в 2013–2015 гг.: *a, в, д* – открытая литораль, *б, г, е* – заросшая литораль; *a, б* – 2013 г., *в, г* – 2014 г., *д, е* – 2015 г.: 1 – Cyanoprokaryota, 2 – Chlorophyta, 3 – прочие.

Максимальные значения численности и биомассы фитопланктона в 2015 г. в открытой воде и застраивающей литорали наблюдались в 3 часа дня, а минимальные – в 6 часов утра в открытой литорали и в 9 утра в зарослях макрофитов (рис. 4.20, 4.21). Суточная динамика биомассы фитопланктона (по данным 2015 г.) в зарослях макрофитов характеризуется снижением после 3 часов дня и увеличением к 12 часам дня. В открытой литорали суточная динамика биомассы фитопланктона не имеет такой ярко выраженной закономерности, как в зарослях макрофитов, но в целом характеризуется снижением показателей в темное время суток и повышением

— в светлое, что соответствует в основных чертах суточной динамике численности (рис. 4.21) (Михайлов и др., 2016).

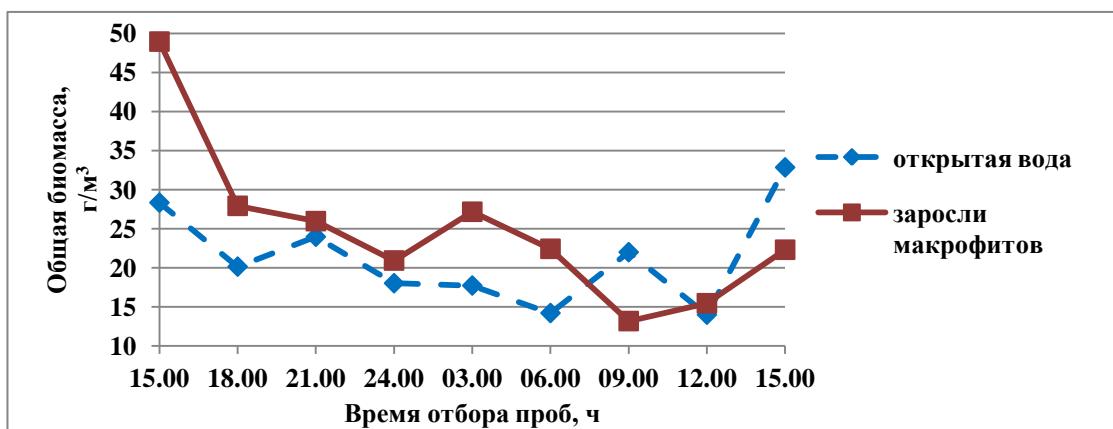


Рисунок 4.20 – Суточная динамика численности фитопланктона Новосибирского водохранилища (18-19 августа 2015 г.)

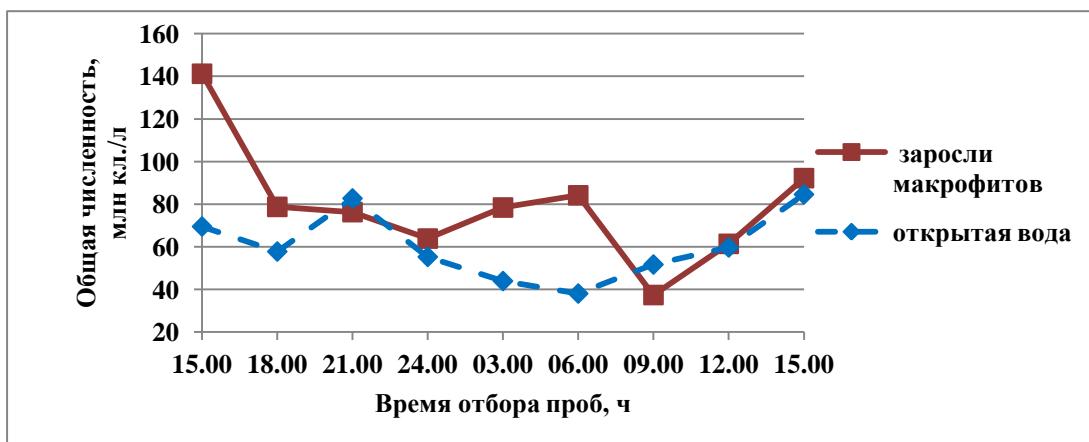


Рисунок 4.21 – Суточная динамика биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища (18-19 августа 2015 г.)

Характерной особенностью зарастающей части Бердского залива являются более высокие показатели численности (2013–2015 гг.) и биомассы (2015 г.) фитопланктона, чем в открытой литорали водоема, что объясняется аккумулирующим действием высших водных растений и ветро-нагонными явлениями, прибывающими часть фитопланктона к берегу. Увеличение показателей обилия фитопланктона в 2015 г. в зарастающей (141,18 млн кл./л; 48,94 г/м<sup>3</sup>) по сравнению с открытой литоралью (69,51 млн кл./л; 28,33

г/м<sup>3</sup>) Бердского залива хорошо согласуются с уменьшением температуры воды (от 22,5 до 23,1 °С) и ростом концентрации растворенного в воде кислорода (с 8 до 11 мг/дм<sup>3</sup> О<sub>2</sub>), значений БПК<sub>5</sub> (с 14 до 17 мгО/л) и pH (от 7,7 до 8,0). В дальнейшем при уменьшении численности и биомассы при переходе от дневного времени к ночному в зарослях макрофитах по сравнению с другой станцией отбора в поверхностном слое воды наблюдается увеличение концентрации кислорода и значений водородного показателя (Михайлов и др., 2016; Влияние абиотических..., 2019).

Таким образом, видовое богатство и показатели обилия фитопланктона в зарослях макрофитов более высокие, чем в открытой литорали. Указанные факты связаны с аккумулирующим действием высших водных растений, а также ветро-нагонными явлениями, прибывающими фитопланктон к берегу. В зарослях макрофитов формируются особые условия обитания гидробионтов, связанные с различиями температуры воды, концентрации растворенного в воде кислорода и значений БПК<sub>5</sub> и pH.

Численность фитопланктона снижается в вечерние иочные часы и возрастает в светлое время суток, образуя максимальные значения к 3 часам дня. Биомасса фитопланктона в течение суток равномерно снижается после 3 часов дня и возрастает после 12 часов дня. 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.

## Глава 5. Оценка современного экологического состояния Новосибирского водохранилища

### 5.1. Сапробность воды

Чувствительность гидробионтов к различному содержанию органических веществ определяется их сапробностью и служит одним из показателей качества воды (Сладечек, 1967). При этом используется списки видов-индикаторов, разработанные Р. Кольквитцем и М. Марссоном и дополненные В. Сладечеком, которые широко применяются в России и других странах для оценки экологического состояния водных объектов. Их основой является разделение индикаторных видов по зонам сапробности, отличающимися разной концентрацией органических веществ в воде (Sládeček, 1973; Баринова, 2000; Шитиков и др., 2003).

По нашим исследованиям в фитопланктоне Новосибирского водохранилища найдено 204 вида-индикатора сапробности, что составляет 69,86 % от общего числа видов (табл. 5.1).

Первое место по количеству индикаторов сапробности занимают диатомовые водоросли, второе – зеленые. Представители других отделов значительно уступают диатомовым и зеленым водорослям по количеству видов-индикаторов сапробности.

В фитопланктоне Новосибирского водохранилища представлены индикаторы широкого спектра зон сапробности – от ксеносапробной до поли- $\alpha$ -мезосапробной зоны. Большинство видов-индикаторов (81 или 39,71 %) относятся к обитателям загрязненных и грязных вод ( $\beta$ ,  $\beta$ - $\alpha$ ,  $\alpha$ - $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $p$ - $\alpha$ ). На втором месте находятся виды с широкой степенью толерантности к содержанию органических веществ ( $\chi$ - $\beta$ ,  $o$ - $\beta$ ,  $\beta$ - $o$ ,  $o$ - $\alpha$ ), в совокупности составляющие 36,27 % от общего числа видов с известной сапробиологической характеристикой (см. табл. 5.1). Они способны вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах. Чем выше доля широкотолерантных видов, тем выше устойчивость экосистемы (Одум,

1986). Индикаторные виды чистых вод ( $\chi$ ,  $\sigma$ ,  $\chi\text{-}\sigma$ ,  $\sigma\text{-}\chi$ ) находятся в меньшинстве (24,02 %).

Таблица 5.1 – Распределение видов-индикаторов (количество ВВТ) Новосибирского водохранилища по зонам сапробности и отделам фитопланктона

Отдел	Зоны сапробности										
	$\chi$	$\chi\text{-}\sigma$ , $\sigma\text{-}\chi$	$\chi\text{-}\beta$	$\sigma$	$\sigma\text{-}\beta$ , $\beta\text{-}\sigma$	$\sigma\text{-}\alpha$	$\beta$	$\beta\text{-}\alpha$ , $\alpha\text{-}\beta$	$\alpha$	$\rho\text{-}\alpha$	Всего
Cyanobacteria	–	–	–	2	2	3	5	1	–	–	13
Miozoa	–	–	–	1	–	–	1	–	–	–	2
Ochromyta	–	–	–	3	3	3	2	–	–	–	11
Euglenophyta	–	–	–	–	1	–	9	5	–	1	16
Bacillariophyta	12	13	4	18	25	9	4	18	–	–	103
Chlorophyta	–	–	–	–	10	13	32	2	1	–	58
Charophyta	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	1
Всего	12	13	4	24	42	28	53	26	1	1	204
Доля от общего числа индикаторов сапробности, %	5,9	6,4	1,9	11,8	20,6	13,7	25,9	12,8	0,5	0,5	100

Примечание:  $\chi$  – ксеносапробная;  $\chi\text{-}\sigma$  – ксено-олигосапробная;  $\sigma\text{-}\chi$  – олигоксеносапробная;  $\chi\text{-}\beta$  – ксено-бета-сапробная;  $\sigma$  – олигосапробная;  $\sigma\text{-}\beta$  – олигобетамезосапробная;  $\beta\text{-}\sigma$  – бета-олигосапробная;  $\sigma\text{-}\alpha$  – олиго-альфа-мезосапробная;  $\beta$  – бетамезосапробная;  $\beta\text{-}\alpha$  – бета-альфа-мезосапробная;  $\alpha\text{-}\beta$  – альфа-бета-мезосапробная;  $\alpha$  – альфамезосапробная;  $\rho\text{-}\alpha$  – поли-альфамезосапробная зона.

Качественный состав видов-индикаторов сапробности хорошо отражает экологическое состояние Новосибирского водохранилища. Преобладание в составе фитопланктона индикаторов загрязненных и грязных вод говорит о высоком уровне загрязнении водоема органическими веществами. Высокая доля широкотолерантных видов указывает на значительный потенциал самоочищающей способности водоема, что способствует устойчивости его экосистемы. Следует отметить, что из числа новых для фитопланктона водохранилища ВВТ значительная доля (19 ВВТ или 36,54 %), относится к широкотолерантным (см. Прил. 1), что также доказывает устойчивость экосистемы водоема.

Таким образом, в фитопланктоне Новосибирского водохранилища преобладают индикаторы загрязненных и грязных вод, лидирующая роль принадлежит представителям  $\beta$ -мезосапробной зоны (25,9 % от общего числа видов-индикаторов), что совпадает с оценкой сапробности воды, проведенной в 1981–1982 гг. Высокая доля широкотолерантных к загрязнению органическими веществами видов свидетельствует о высоком потенциале самоочищающей способности водоема.

Оценка качества воды Новосибирского водохранилища, определенная по индексу сапробности Пантле и Букку в 1981–1982 гг. (1,81–2,25), соответствовала 3 классу «удовлетворительной чистоты» («умеренно-чистые» по терминологии авторов) и  $\beta$ -мезосапробной зоне (Куксн, Чайковская, 1985а, б).

За время наших исследований (2016–2018 гг.) индекс сапробности воды Новосибирского водохранилища колебался в широких пределах (0,40–3,60), но средние значения индекса по водохранилищу меняются незначительно, составляя в среднем за 3 года  $1,94 \pm 0,01$  (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Индекс сапробности воды Новосибирского водохранилища, 2016–2018 гг.

Годы исследований	Индекс сапробности	Пределы колебания индекса сапробности
2016	$1,95 \pm 0,07$	0,40–2,90
2017	$1,95 \pm 0,06$	0,40–3,60
2018	$1,92 \pm 0,07$	0,40–3,60
В среднем за 3 года исследований	$1,94 \pm 0,01$	0,40–3,60

Согласно комплексной экологической классификации вод (Комплексная экологическая..., 1993; Шитиков и др., 2003) вода Новосибирского водохранилища соответствует  $\beta$ -мезосапробной зоне и  $\beta$ -мезосапробному разряду. Качество воды Новосибирского водохранилища по этим показателям соответствует 3 классу «удовлетворительной чистоты», разряду «достаточно чистая».

Таким образом, преобладание в составе фитопланктона индикаторов загрязненных и грязных вод говорит о высоком уровне загрязнения Новосибирского водохранилища органическими веществами. В то же время, высокая доля широкотолерантных видов указывает на значительный потенциал самоочищающей способности водоема, что способствует устойчивости его экосистемы. Сапробность и класс качества воды, определенный по индексу сапробности Пантле и Букку, за 36 лет эксплуатации Новосибирского водохранилища не изменились.

## **5.2. Трофический статус водоема и качество воды**

Трофический статус водоема определяется величиной первичной продукции фитопланктона, основными показателями которой являются биомасса и содержание хлорофилла «а» (Комплексная экологическая..., 1993; Заика, 2003; Сиротский и др., 2011).

С момента заполнения (1957–1959 гг.) Новосибирское водохранилище по данным развития фитопланктона характеризовалось как олигомезотрофное (в многоводные годы – олиготрофное, а в маловодные – мезотрофное). После 22 лет существования водохранилища его трофический статус не изменился (Куксн, Чайковская, 1985а).

С 1981 по 2007 гг. по среднему содержанию хлорофилла «а» трофность водоема большую часть года оставалась мезотрофной, и только в период максимального развития фитопланктона его категория повышалась до эвтрофной ( $18,3$  и  $20,9$  мг/м<sup>3</sup>), которая сохранялась без изменений в июле–августе 2007–2018 гг. ( $5$ – $20$  мг/м<sup>3</sup>). При продвижении по акватории водохранилища статус водоема в верхней его части и в средней соответствовал мезотрофному уровню, а в нижней озеровидной повышался до эвтрофного, достигая политрофного или гипертрофного в Бердском заливе (Кириллов, Чайковская, 1985; Кириллова, Котовщиков, 2009; Котовщиков, Яныгина, 2018).

По нашим данным летом 2016–2018 гг. трофический статус в верхней и средней частях водохранилища возрастал от мезотрофного до эвтрофного, а в нижней приплотинной части водоема за все три года исследований сохранялась эвтрофная категория. В Бердском заливе в 2016–2017 гг. регистрировалась политрофная категория, а в 2018 г. статус снижался до эвтрофной категории, эвполитрофного разряда, что связано с климатическими особенностями 2018 г. (табл. 5.3).

По усредненным данным биомассы фитопланктона летом 2016–2018 гг. Новосибирское водохранилище соответствовало статусу эвтрофного водоема. В 2016 и 2017 гг. водоем имел разряд трофности эвполитрофный, в 2018 г. он снизился до эвтрофного. Отмечаемая в 2016 г. неоднородность трофности различных частей водохранилища в 2018 г. сглаживается (см. табл. 5.3).

Полученные данные согласуются с трофическим статусом водохранилища, определенным по содержанию хлорофилла «а» (Котовщиков, Яныгина, 2018).

Вследствие снижения энергетической роли Новосибирского водохранилища и возрастанию его функции в обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения, качество его вод должно соответствовать санитарно-гигиеническим нормам.

Оценка качества воды водохранилища, проведенная по гидрохимическим показателям с 2006 по 2010 гг. по удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) и критическим показателям загрязненности (КПЗ) соответствовала классу от «очень загрязненная» до «грязной». Основными загрязнителями воды были ионы железа, марганца и меди. Летом 2009–2014 гг. качество воды по данным, полученным при сопоставлении концентраций химических веществ с региональными фоновыми значениями, имело класс от «слабозагрязненной» до «загрязненной».

Таблица 5.3 – Трофический статус и качество воды Новосибирского водохранилища, лето 2016–2018 гг.

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

В верхней зоне водохранилища на качество воды влияет основной сток р. Оби, а в нижней – внутриводоемные процессы. За 5 лет исследований максимальные значения УКИЗВ наблюдались в средней части, а минимальные – в нижней части водоема (Двуреченская и др., 2012; Савкин, Двуреченская, 2014, 2015, 2017; Двуреченская, Булычева, 2017).

Качество воды Новосибирского водохранилища летом 2007–2009 гг. соответствовало 3 классу «удовлетворительной чистоты». При этом в верхней части водоема регистрировался 2 класс «чистая», который у плотины в нижней части водохранилища и в Бердском заливе снижался до 5 класса «грязная». В 2007–2008 гг. вода по содержанию хлорофилла «а», соответствовала 2 классу «чистая» и 3 классу «удовлетворительной чистоты» и разрядам «вполне чистая – слабозагрязненная». Качество воды Новосибирского водохранилища в 2016–2018 гг., определенное по гидрохимическим показателям, снижалось от 4 класса загрязненная («очень загрязненная») до 5 класса «грязная» (Кириллова, Котовщикова, 2009; Яныгина, Горгуленко, 2012; Государственный доклад, 2018, 2019).

По нашим данным в верхней части водохранилища с 2016 по 2018 гг. качество воды снижается от 2 до 3 класса – от «чистой» до «удовлетворительной чистоты» (см. табл. 5.3). В средней части качество воды летом 2016 и 2018 гг. соответствует 3 классу «удовлетворительной чистоты», разрядам «достаточно чистая – слабозагрязненная». Летом 2017 г. качество воды соответствует 4 классу «загрязненная» и разряду «умеренно загрязненная». В нижней части за все три года исследований регистрировалось качество воды 3 класса «удовлетворительной чистоты» и разряда «умеренно загрязненная». В Бердском заливе состояние воды летом 2016–2017 гг. соответствовало 4 классу «загрязненная» и разряду «сильно загрязненная», в 2018 г. – разряду «умеренно загрязненная». 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» (Михайлов, Баженова, 2019).

Прогнозы стабилизации темпов антропогенного эвтрофирования Новосибирского водохранилища данные в конце XX века (Куксн, Чайковская, 1985а, Многолетняя динамика..., 2014) не оправдались. Возрастание антропогенной нагрузки в целом в Обь-Иртышском бассейне (Современное состояние..., 2017) и изменения климата (температуры, осадков и водности летних месяцев) 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.

Таким образом, с момента создания Новосибирского водохранилища (1959 г.) и за 59 лет его эксплуатации, трофность водоема в летний период повысилась от олиго-мезотрофной до эвтрофной (в целом по водохранилищу) и политрофной (Бердский залив), а качество воды снизилось с 3 класса «удовлетворительной чистоты» (по показателям сапробности Пантле и Букка) до 4 класса «загрязненная», что свидетельствует об ускорении процесса антропогенного эвтрофирования водохранилища.

## 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 %) широкотолерантных 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.

## Библиографический список

1. Абакумов, В. А. Контроль качества вод по гидробиологическим показателям в системе гидрометеорологической службы СССР / В. А. Абакумов // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям : тр. совет. англ. семинара. – Ленинград, 1977. – С. 93–100.
2. Абакумов, В. А. Экологические модификации и развитие биоценозов / В. А. Абакумов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования : тр. междунар. симпозиума. – Ленинград, 1991. – С. 18–40.
3. Авакян, А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва: Мысль, 1987. – 323 с.
4. Алекин, О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1970. – 443 с.
5. Анализ экологического состояния Новосибирского водохранилища и его нижнего бьефа; экологическая оценка вариантов ТЭО «Улучшение использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища» : отчет о НИР / Ин-т водных и экологических проблем СО РАН ; испол. : О. Ф. Васильев [и др.]. – Новосибирск, 1992. – 142 с.
6. Атавин, А. А. Ледотермический режим нижнего бьефа Новосибирского гидроузла / А. А. Атавин, Т. А. Зиновьев, А. В. Кудишин // Водные ресурсы. – 2014. – № 2. – С. 123–130.
7. Баженова, О. П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока / О. П. Баженова. – Омск: Изд-во ОмГАУ, 2005. – 248 с.
- 8 . Баженова О.П., Гульченко Я.И. Многолетняя сукцессия фитопланктона среднего течения реки Иртыш (Омск, Россия) // Альгология. – 2017. – № 1. – С. 84–98.

9. Баринова, С. С. Атлас водорослей-индикаторов сапробности : (Рос. Дал. Восток) / С. С. Баринова, Л. А. Медведева. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 334 с.
10. Баринова, С. С. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Москва: ВНИИПрироды, 2000. – 150 с.
11. Баринова, С. С. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
12. Бейром, С. Г. Изменение природных условий в Средней Оби после создания Новосибирской ГЭС / С. Г. Бейром, Н. В. Вострякова, В. М. Широков. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1973. – 145 с.
13. Бейром, С. Г. Охрана и использование береговой полосы Новосибирского водохранилища / С. Г. Бейром, В. М. Савкин // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Сибири. – Новосибирск, 1980. – С. 82–88.
14. Берега морей и внутренних водоемов: актуальные проблемы геологии, геоморфологии и динамики / А. Ш. Хабидов [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. – 272 с.
15. Береговая зона крупных водохранилищ. Основные формы рельефа / А. Ш. Хабидов [и др.] // Геоморфология. – 2014. – № 1. – С. 29–36.
16. Бигон, М. Экология. Особи популяции и сообщества / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таусенд. – Москва: Мир, 1989. – Т. 1. – 667 с. ; Т. 2. – 477 с.
17. Биологический режим водохранилища Новосибирской ГЭС в первый год его заполнения / Г. Г. Павлова [и др.] // Тезисы докладов XII отчетной сессии Западно-Сибирского филиала АН СССР. – Новосибирск, 1958. – С. 69–72.
18. Брянцева, Ю. В. К методике расчета объемов клеток фитопланктона / Ю. В. Брянцева // Труды южного научно-исследовательского института

морского рыбного хозяйства и океанографии. – Керчь, 1996. – Т. 42. – С. 195–199.

19. Бульон, В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов / В. В. Бульон. – Ленинград: Наука, 1983. – 150 с.

20. Водоросли Оби и ее поймы / М. С. Куксн [и др.] // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1972. – Ч. 2 (4). – С. 3–44.

21. Водохозяйственные и экологические проблемы Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев [и др.] // Водные ресурсы. – 1997. – № 5. – С. 581–589.

22. Воронина, Л. В. Климат и экология Новосибирской области / Л. В. Воронина, А. Г. Гриценко. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 228 с.

23. Воротников, Б. А. Эколо-геохимическое состояние природных вод Новосибирского водохранилища / Б. А. Воротников, В. С. Кустовский // География и природные ресурсы. – 2001. – № 1. – С. 41–47.

24. Влияние абиотических и трофических факторов на суточную горизонтальную миграцию зоопланктона в литоральной зоне водохранилища / Н. И. Ермолаева [и др.] // Биология внутренних вод. – 2019. – № 4. – С. 50–59.

25. Влияние абразии берегов на качество воды Новосибирского водохранилища/ Т. М. Булычева [и др.] // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов: тр. 2-й Междунар. конф., 1–6 авг. 2011 г. – Новосибирск, 2011. – С. 108–111.

26. Генкал, С. И. Новые данные к флоре диатомовых водорослей реки Оби / С. И. Генкал, Г. Д. Левадная // Новости систематики высших растений. – Ленинград, 1980. – С. 3–7.

27. Генкал, С. И. Атлас диатомовых водорослей планктона реки Волги / С. И. Генкал. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 128 с.

28. Генкал, С. И. Центрические диатомовые водоросли (*Bacillariophyta, Centrophyceae*) водоемов Карелии / С. И. Генкал, Т. А. Чекрыжева // Биология внутренних вод. – 2011. – № 1. – С. 5–16.

29. Генкал, С. И. Центрические диатомовые (*Centrophyceae*, *Bacillariophyta*) водотоков и водоемов юго-востока Западно-Сибирской равнины и Приполярного Урала / С. И. Генкал, Р. Е. Романов // Сиб. экол. журн. – 2012. – № 4. – С. 541–555.
30. Генкал, С. И. Центрические диатомовые водоросли (*Centrophyceae*) водоемов и водотоков бассейна среднего участка реки Иртыш / С. И. Генкал, О. П. Баженова, Е. Ю. Митрофанова // Биология внутренних вод. – 2012. – № 1. – С. 5–14.
31. Георгиева, Е. Ю. Особенности суточной изменчивости фитопланктона северо-западного шельфа Черного моря в осенний период / Е. Ю. Георгиева // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2012. – № 7 (26). – С. 191–197.
32. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби / под ред. В. А. Знаменского, М. Я. Кунявского. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1979. – 155 с.
33. Голлербах, М. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Голлербах, Е. К. Косинская, В. И. Полянский. – Москва: Совет. наука, 1953. – Вып. 2: Синезеленые водоросли. – 652 с.
34. Горбулин, О. С. Комплексы доминантных форм фитопланктона разнотипных водоемов / О. С. Горбулин // Альгология. – 2012. – № 3. – С. 303–315.
35. Горгуленко, В. В. Экотоксикологическая оценка воды и донных отложений Новосибирского водохранилища / В. В. Горгуленко, Л. В. Яныгина // Водные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 284–292.
36. Даниленко, Л. А. Химический состав и загрязнение поверхностных вод Верхней Оби, рек Катунь, Бия, Чумышман и Телецкого озера / Л. А. Даниленко, В. С. Коломейчук, В. В. Сегелей // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах: аналит. обзор. – Новосибирск, 1989. – Ч. 3. – С. 30–42.

37. Данилов-Данильян, В. И. Глобальная проблема дефицита пресной питьевой воды / В. И. Данилов-Данильян // Век глобализации. – 2008. – № 1. – С. 45–56.
38. Дедусенко-Щеголева, Н. Т. Определитель пресноводных водорослей СССР / Н. Т. Дедусенко-Щеголева, А. М. Матвиенко, Л. А. Шкорбатов. – Москва ; Ленинград: АН СССР, 1959. – Вып. 8: Зеленые водоросли. Класс вольвоксовые. – 231 с.
39. Дедусенко-Щеголева Н. Т. Определитель пресноводных водорослей СССР / Н. Т. Дедусенко-Щеголева, М. М. Голлербах. – Москва ; Ленинград: АН СССР, 1962. – Вып. 5: Желтозеленые водоросли. – 272 с.
40. Динамика гидролого-гидрохимических характеристик экосистемы Новосибирского водохранилища / С. Я. Двуреченская [и др.] // Сиб. экол. журн. – 2001. – № 2. – С. 231–236.
41. Двуреченская, С. Я. О влиянии сезонного фактора на формирование качества воды Новосибирского водохранилища в условиях изменения природно-техногенной ситуации / С. Я. Двуреченская // Сиб. экол. журн. – 2006. – № 6. – С. 803–808.
42. Двуреченская, С. Я. Исследование изменчивости гидрохимического режима по акватории Новосибирского водохранилища / С. Я. Двуреченская // География и природ. ресурсы. – 2007. – № 4. – С. 74–79.
43. Двуреченская, С. Я. Водно-экологические особенности формирования гидрохимического режима Новосибирского водохранилища / С. Я. Двуреченская, Т. М. Булычева, В. М. Савкин // Вода: химия и экология. – 2012. – № 9. – С. 8–13.
44. Двуреченская, С. Я. Определение качества воды водохранилища по интегральным показателям в периоды различной водности воды / Двуреченская С. Я., Булычева // Вода и экология. – 2017. – № 1. – С. 44–53.
45. Ермолаева, Н. И. Суточная динамика гидробиологических показателей и зоопланктона в литорали Новосибирского водохранилища / Н.

И. Ермолаева, Ю. И. Зарубина, С. Я. Двуреченская // Поволж. экол. журн. – 2016. – № 2. – С. 155–166.

46. Заика, В. Е. О трофическом статусе пелагических экосистем в разных регионах Черного моря / В. Е. Заика // Морський екологічний журнал. – 2003. – № 1. – С. 5–11.

47. Информационные аспекты экологической безопасности Новосибирского водохранилища / В. В. Кириллов [и др.] // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. Всерос. науч.-конф. с междунар. участием, посвящ. 25-лет. юбилею ИВЭП СО РАН: в 3 т. – Барнаул, 2012. – Т. 2. – С. 233–239.

48. Исследование пространственного распределения фитопланктона Новосибирского водохранилища контактными и дистанционными методами / В. В. Кириллов [и др.] // Приоритетные направления экологической реабилитации Воронежского водохранилища: материалы Всерос. науч.-практ. конф., (21 нояб. 2012 г.). – Воронеж, 2012. – С. 286–290.

49. Кириллов, В. В. Пигментные характеристики фитопланктона Новосибирского водохранилища / В. В. Кириллов, Т. С. Чайковская // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985. – С. 84–97.

50. Кириллова, Т. В. Растительные пигменты как показатели экологического состояния Новосибирского водохранилища / Т. В. Кириллова, А. В. Котовщикова // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 1. – С. 26–30.

51. Киселев, И. А. Определитель пресноводных водорослей СССР / И. А. Киселев. – Москва: Совет. наука, 1954. – Вып. 6: Пирофитовые водоросли. – 212 с.

52. Кожова, О. М. Формирование фитопланктона Братского водохранилища / О. М. Кожова // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. – Москва, 1970. – С. 26–160.

53. Комаров, А. В. Проблемы водопользования и чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера / А. В. Комаров, В. В. Кошарный // Науч. и образоват. проблемы граждан. защиты. – 2010. – № 1. – С. 31–40.

54. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксюк [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – № 4. – С. 62–76.

55. Компьютерное моделирование полей концентраций хлорофилла для лимнологических объектов на основе спутниковых MERIS-данных (на примере Новосибирского водохранилища) / Н. М. Ковалевская [и др.] // Горный информационно-аналит. бюл. – 2009. – № 12. – С. 175–179.

56. Консервативные загрязняющие вещества в воде Новосибирского водохранилища / А. Н. Эйрих [и др.] // Мир науки, культуры, образования. – 2012. – № 6. – С. 533– 536.

57. Корнева, Л. Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16 / Корнева Людмила Генриховна. – Санкт-Петербург, 2009. – 47 с.

58. Косинская Е. К. Флора споровых растений СССР / Е. К. Косинская. – Москва ; Ленинград: Наука, 1960. – Т. 5, вып. 1: Конъюгаты или Сцелянки. Десмидиевые водоросли. – 706 с.

59. Котовщиков, А. В. Пигментные характеристики альгоценозов речной системы Оби : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Котовщиков Антон Викторович. – Барнаул, 2012. – 24 с.

60. Котовщиков, А. В. Динамика содержания хлорофилла а в р. Обь и ее связь сabiотическими факторами / А. В. Котовщиков, Л. А. Долматова // Биология внутренних вод. – 2018. – № 1. – С. 29–38.

61. Котовщиков, А. В. Пространственная неоднородность содержания хлорофилла а в Новосибирском водохранилище / А. В. Котовщиков, Л. В. Яныгина // Изв. Алт. отд-ния Рус. географ. о-ва. – 2018. – № 3. – С. 46–53.

62. Куксн, М. С. О формировании фитопланктона Новосибирского водохранилища / М. С. Куксн // Гидрология и гидрохимия, гидробиология, паразитология: тез. докл. Всесоюз. совещ. по вопр. рыбохозяйственного освоения водохранилищ. – Ленинград, 1958. – С. 51–52.

63. Куксн, М. С. К вопросу формирования фитопланктона Новосибирского водохранилища / М. С. Куксн // Труды Всесоюзных совещаний по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. – Москва ; Ленинград, 1961а. – С. 150–152.

64. Куксн, М. С. Распространение и сезонное развитие фитопланктона в Новосибирском водохранилище в первые годы его заполнения (1957–1958 гг.) / М. С. Куксн // Материалы по изучению природы Новосибирского водохранилища. – Новосибирск, 1961б. – С. 51–63.

65. Куксн, М. С. Водоросли пойменных водоемов верхней Оби / М. С. Куксн, Г. Д. Левадная // Природа поймы реки Оби и ее хозяйственное освоение. – Томск, 1963. – С. 104–114.

66. Куксн, М. С. Вертикальное распределение фитопланктона в Новосибирском водохранилище / М. С. Куксн // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1964. – Ч. 1. – С. 43–55.

67. Куксн, М. С. Некоторые редкие виды водорослей, встреченные в планктоне р. Оби и Новосибирского водохранилища // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1965а. – Ч. 2. – С. 57–61.

68. Куксн, М. С. Фитопланктон Новосибирского водохранилища и его формирование : автореф. дис. ... канд. биол. наук / М. С. Куксн. – Новосибирск, 1965б. – 24 с.

69. Куксн, М. С. О периодичности развития сине-зеленых водорослей в Новосибирском водохранилище / М. С. Куксн // Водоросли, грибы и лишайники лесостепной и лесной зон Сибири. – Новосибирск, 1973. – С. 90–95.

70. Куксн, М. С. Межгодовые колебания видового состава и биомассы фитопланктона Новосибирского водохранилища / М. С. Куксн, Т. С.

Чайковская // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985а. – С. 76–84.

71. Куксн, М. С. Фитопланктон Новосибирского водохранилища (1981–1982 гг.) / М. С. Куксн, Т. С. Чайковская // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985б. – С. 61–76.

72. Лакин, Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие / Г. Ф. Лакин. – Москва: Высш. шк., 1990. – 352 с.

73. Ланбина, Т. А. Режим биогенных и органических веществ Новосибирского водохранилища / Т. А. Ланбина, Т. В. Карпеева // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985. – С. 24–42.

74. Ланбина, Т. В. Характеристика и баланс некоторых микроэлементов в воде и взвешенных веществах Новосибирского водохранилища / Т. В. Ланбина, Ю. П. Подлипский // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985. – С. 42–53.

75. Ланбина, Т. В. Газовый режим Новосибирского водохранилища / Т. В. Ланбина, Н. В. Журба // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985. – С. 53–61.

76. Левадная, Г. Д. Водоросли грунтов и обрастаний Новосибирского водохранилища в 1957–1958 гг. / Г. Д. Левадная // Материалы по изучению природы Новосибирского водохранилища. – Новосибирск, 1961. – С. 41–50.

77. Левадная, Г. Д. К характеристике фитопланктона мелководной зоны водохранилища Новосибирской ГЭС / Г. Д. Левадная // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1964. – Ч. 1. – С. 35–42.

78. Левадная, Г. Д. Некоторые редкие виды диатомовых водорослей, встреченные в Верхней Оби и Новосибирском водохранилище / Л. Д. Левадная // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1970. – Ч. 1 (3). – С. 55–57.

79. Левадная, Г. Д. Заметки о некоторых видах диатомовых водорослей Верхней Оби и Новосибирского водохранилища / Г. Д. Левадная //

Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1972. – Ч. 2 (4). – С. 45–50.

80. Левадная, Г. Д. Фитопланктон / Г. Д. Левадная // Биологический режим и рыбохозяйственное использование Новосибирского водохранилища. – Новосибирск, 1976. – С. 59–64.

81. Левадная, Г. Д. Водоросли сем. *Chaetophoraceae* (*Chlorophyta*) рек Оби и Енисея / Г. Д. Левадная // Ботан. журн. 1978. – № 11. – С. 1611–1619.

82. Левадная, Г. Д. Фитопланктон предплотинного участка Новосибирского водохранилища и р. Оби у Новосибирска как источников водоснабжения / Г. Д. Левадная, М. Г. Шушуева // Водоросли, грибы и лишайники юга Сибири. – Москва, 1980. – С. 113–122.

83. Леонова, Г. А. Исследование образцов планктона Новосибирского водохранилища методами рентгеновской флуоресценции и электронной микроскопии / Г. А. Леонова, В. А. Бобров, Е. В. Лазарева // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2010. – № 8. – С. 66–70.

84. Макаревич, В. Н. Голландские методы учета обилия видов по де Фризу в сравнении с другими методами определения участия видов в луговых травостоях / В. Н. Макаревич // Ботан. журн. – 1966. – № 2. – С. 293–304.

85. Мамина, Н. Д. Биологическая характеристика р. Оби и ее притоков в зоне г. Новосибирска / Н. Д. Мамина // Сборник работ по вопросам коммунальной санитарии. – Новосибирск, 1940. – Вып. 8. – С. 66 – 75.

86. Матвиенко, А. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / О. М. Матвиенко. – Москва: Совет. наука, 1954. – Вып. 3: Золотистые водоросли. – 188 с.

87. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовской. – Москва: Наука, 1975. – С. 77–78.

88. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах.

Фитопланктон и его продукция / сост.: Г. М. Лаврентьева, В. В. Бульон. – Ленинград: ГосНИОРХ, 1984. – 32 с.

89. Минеева, Н. М. Содержание хлорофилла а в единице биомассы фитопланктона : (обзор) / Н. М. Минеева, Л. А. Щур // Альгология. – 2012. – № 4. – С. 441–456.

90. Миркин, Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова. – Москва: Наука, 1989. – 223 с.

91. 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-летнему юбилею каф. экологии, природопользования и биологии. – Омск, 2016. – С. 186–192.

92. 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.

93. 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. 205–207.

94. Михеева, Т. М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.18 / Михеева Татьяна Михайловна. – Минск, 1992. – 63 с.

95. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин [и др.]. – Рос. акад. наук,

Сиб. отд-ние, Институт водных и экол. проблем СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 393 с.

96. Мониторинг качества воды Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин [и др.] // Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1995. – С. 148–153.

97. Мошкова, Н. А. Определитель пресноводных водорослей СССР. / Н. А. Мошкова, М. М. Голлербах. – Ленинград: Наука, 1986. – Вып. 10 (1): Зеленые водоросли. Класс Улотриковые. – 306 с.

98. Мэгарран, А. Е. Экологическое разнообразие и его измерение / А. Е. Мэгарран. – Москва: Мир, 1992. – 181 с.

99. Наumenko, Ю. В. Видовой состав золотистых водорослей / Ю. В. Науменко // Ботан. журн. – 1992. – № 2. – Т. 77. – С. 65–69.

100. Науменко, Ю. В. Видовой состав и экологическая характеристика синезеленых водорослей Оби / Ю. В. Науменко // Сиб. биол. журн. – 1993а. – Вып. 4. – С. 23–28.

101. Науменко, Ю. В. Материалы к флоре водорослей (Dinophyta) р. Обь / Ю. В. Науменко // Сиб. биол. журн. – 1993б. – Вып. 6. – С. 54–57.

102. Науменко, Ю. В. Центрические диатомовые водоросли фитопланктона р. Обь / Ю. В. Науменко // Сиб. биол. журн. – 1993в. – Вып. 6. – С. 66–70.

103. Науменко, Ю. В. Видовой состав эвгленовых водорослей фитопланктона реки Оби / Ю. В. Науменко // Бот. журн. – 1994. – № 10. – Т. 79. – С. 65–68.

104. Науменко, Ю. В. Водоросли фитопланктона реки Оби : препринт / Ю. В. Науменко. – Новосибирск: [б. и.], 1995. – 55 с.

105. Науменко, Ю. В. Фитопланктон реки Оби : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05 / Науменко Юрий Витальевич. – Новосибирск, 1996. – 33 с.

106. Науменко, Ю. В. Видовой состав зимнего фитопланктона Новосибирского водохранилища / Ю. В. Науменко, М. С. Нечаева // Сиб. экол. журн. – 2000. – № 2. – С. 173–176.
107. Обременко, Ф. А. Гидрология, гидрохимия Новосибирского водохранилища / Ф. А. Обременко, Ю. П. Подлипский // Проблемы использования и охраны природных ресурсов Сибири. – Новосибирск, 1980. – С. 88–98.
108. Одум, Ю. Экология : в 2 т. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.
109. Определение фенолов в воде Новосибирского водохранилища / В. Л. Саленко [и др.] // Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. – Новосибирск, 1995. – С. 141–148.
110. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Забелина [и др.]. – Москва: Совет. наука, 1951. – Вып. 4: Диатомовые водоросли. – 619 с.
111. Охапкин, А. Г. Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и её притоков): автореф. дис. ...докт. биол. наук / Охапкин Александр Геннадьевич. – СПб., 1997. – 48 с.
112. Разработка гидрохимических балансов Новосибирского водохранилища и оценка его биостока (по фитопланктону) в связи с проектируемым Катунским гидроузлом : отчет о НИР / ЗапСибНИГМИ Госкомгидромета ; исполн. : Ю. И. Подлипский [и др.]. – Новосибирск, 1989. – 161 с.
113. Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский [и др.]. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 803 с.
114. Паламарь-Мордвинцева, Г. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / Г. М. Паламарь-Мордвинцева. – Ленинград: Наука, 1982. – Вып. 11(2): Зеленые водоросли. Класс конъюгаты. Порядок десмидиевые. – 602 с.

115. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействий (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение / Сост. : Н. А. Шиленко [и др.]. – Москва: ВНИРО, 1999. – 304 с.

116. Подлипский, Ю. И. К вопросу организации и некоторые итоги комплексных исследований Новосибирского водохранилища / Ю. И. Подлипский // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – Москва, 1985. – С. 3–16.

117. Подлипский, Ю. И. Комплексная оценка качества воды Новосибирского водохранилища в районе водозабора для целей обоснования проекта переброски обских вод в р. Карасук и оз. Чаны / Ю. И., Подлипский, Т. С. Чайковская, Н. С. Котикова // Проблемы гидрометеорологического обеспечения народного хозяйства Сибири : тез. докл. Всесоюз. совещ., 6–10 авг. – Красноярск, 1989. – Ч. 3: Русловые процессы, проблемы оценки и управления качеством поверхностных вод. – С. 74–75.

118. Попова, Т. Г. Определитель пресноводных водорослей СССР / Т. Г. Попова. – Москва: Совет. наука, 1955. – Вып. 7: Эвгленовые водоросли. – 282 с.

119. Попова, Т. Г. Растительность водоемов / Т. Г. Попова // Растительные богатства Новосибирской области. – Новосибирск, 1961. – С. 73–93.

120. Попова, Т. Г. Флора споровых растений СССР / Т. Г. Попова. – Москва ; Ленинград: Наука, 1966. – Т. 8, вып. 1: Эвгленовые водоросли. – 412 с.

121. Попова, Т. Г. Флора споровых растений СССР / Т. Г. Попова, Т. А. Сафонова. – Москва ; Ленинград: Наука, 1976. – Т. 9, вып. 2: Эвгленовые водоросли. – 286 с.

122. Примайченко А. Д. Течение как фактор, определяющий развитие фитопланктона в водоеме / А. Д. Примайченко // Первичная продукция морей и внутренних вод. – Минск, 1961. – С. 314–318.

123. Пространственная и временная динамика гидрохимического режима Новосибирского водохранилища / С. Я. Двуреченская [и др.] // География и природ. ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 49–53.

124. Прошкина-Лавренко, А. И. Диатомовые водоросли – показатели солености воды / А. И. Прошкина-Лавренко // Диатомовый сборник. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1953. – С. 186–205.

125. Романов, Р. Е. Экспериментальная оценка изменения состава фитопланктона при загрязнении пресного водоема солями металлов / Е. Р. Романов, Б. С. Смоляков // Факторы устойчивости растений в экстремальных природных условиях и техногенной среде: материалы Всерос. науч. конф., 10–13 июня 2013 г. – Иркутск, 2013. – С. 360–363.

126. Пузаченко, Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по географии и экологическим специальностям / Ю. Г. Пузаченко. – Москва: Academia, 2004 – 407 с.

127. Руководство к методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983. – 239 с.

128. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. – Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992. – 318 с.

129. Савкин, В. М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях) / В. М. Савкин. – Новосибирск : Наука, 2000. – 152 с.

130. Савкин В. М. Искусственные пляжи для берегоукрепления и комплексного использования прибрежной зоны Новосибирского водохранилища / В.М. Савкин, К. В. Марусин, Е.А. Федорова // Труды

Междунар. конф. «Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоёмов», Новосибирск 20–25 июля 2009 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – С. 255–261.

131. Савкин, В. М. Влияние многолетних изменений гидролого-гидрохимического режима Новосибирского водохранилища на экологические условия водопользования / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская // Сиб. экол. журн. – 2010. – № 4. – С. 663–669.

132. Савкин, В. М. Эколого-водохозяйственные особенности многолетнего использования водных ресурсов Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская // Устойчивость водных объектов, водосборных и прибрежных территорий; риски их использования. – Калининград, 2011. – С. 354–360.

133. Савкин, В. М. Влияние особенностей гидрологического режима Новосибирского водохранилища на развитие береговых процессов / В. М. Савкин, О. В. Кондакова // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов : тр. 2-й Междунар. конф. – Новосибирск, 2011. – С. 293–297.

134. Савкин, В. М. Анализ негативных последствий эксплуатации Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин // Науч. проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 2. – С. 123–127.

135. Савкин, В. М. Ресурсные и водно-экологические проблемы комплексного использования Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская // Водные ресурсы. – 2014. – № 4. – С. 456–465.

136. Савкин, В. М. Роль Новосибирского водохранилища в регулировании стока верхней Оби и формировании качества воды / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» : сб. науч. тр. – Петрозаводск, 2015. – Т. 1. – С. 201–206.

137. Савкин, В. М. Современное водоснабжение Новосибирского водохозяйственного комплекса / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская // Вода и экология: проблемы и решения. – 2017. – № 2. – С. 40–49.
138. Савкин, В. М. Влияние многолетнего комплексного использования водных ресурсов на экосистему Новосибирского водохранилища / В. М. Савкин С. Я. Двуреченская // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 1. – 71– 82.
139. Савкин В. М., Границы гидрологии при современном использовании стока Верхней Оби / В. М. Савкин, С. Я. Двуреченская, О. В. Кондакова // Третьи Виноградовские чтения. Границы гидрологии: сб. докл. междунар. науч. конф. памяти выдающ. рус. гидролога Юрия Борисовича Виноградова, 28-30 марта 2018 г. – Санкт-Петербург. – С. 781–786.
140. Садчиков, А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : метод. руководство / А. П. Садчиков. – Москва : Университет и школа, 2003. – 157 с.
141. Сафонова, Т. А. Род *Trachelomonas* Ehr. во флоре водорослей Западной Сибири / Т. А. Сафонова // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – Вып. 10, ч. 2. – С. 62–112.
142. Сафонова, Т. А. Флора водорослей, ее биологические особенности и роль в биологической продукции водоемов Западной Сибири / Т. А. Сафонова // Биологические ресурсы внутренних водоемов Сибири и Дальнего Востока. – Москва, 1984. – С. 108–117.
143. Сафонова, Т. А. Эвгленовые водоросли Западной Сибири / Т. А. Сафонова; Акад. наук СССР, Сиб. отд-ние, Центр. сиб. ботан. сад. – Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1987. – 191 с.
144. Сершун, В. И. Новосибирской ГЭС – 50 лет / В. И. Сершун // Гидрол. строительство. – 2007. – № 11. – С. 21–25.
145. Сиротский, Е. С. Трофический статус некоторых водотоков бассейна реки Тимптон (Южная Якутия) / Е. С. Сиротский, Л. А. Медведева,

Ю. В. Пархомук // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – Владивосток, 2011. – Вып. 5. – С. 483–487.

146. Современное состояние водных ресурсов и водохозяйственного комплекса Обь-Иртышского бассейна / А. В. Пузанов [и др.] // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : тр. III Всерос. науч. конф. с междунар. участием : в 4 т. – Барнаул, 2017. – Т. 1. – С. 3–16.

147. Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша / Ю. И. Винокуров [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 236 с.

148. Солоневская, А. В. Водоросли реки Оби и Новосибирских водопроводов / А. В. Солоневская // Материалы второй конференции молодых ученых Сибирского отделения АН СССР : тез. докл. – Новосибирск, 1961. – С. 283.

149. Солоневская, А. В. Динамика сезонного развития и сток фитопланктона верхней Оби на участке г. Камень – с. Дубровино / А. В. Солоневская // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1964. – Ч. 1. – С. 69–81.

150. Солоневская, А. В. Сток фитопланктона Верхней Оби за 1963 г. / А. В. Солоневская // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – Ч. 2. – С. 16–23.

151. Солоневская, А. В. К изучению стока фитопланктона Оби / А. В. Солоневская // Совещание по биологической продуктивности водоемов Сибири : краткое содерж. докл., окт. 1966 г. – Иркутск, 1966. – С. 157–158.

152. Солоневская, А. В. Опыт учета первичной продукции фитопланктона Верхней Оби / А. В. Солоневская // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1970а. – Ч. 1 (3). – С. 21–29.

153. Солоневская, А. В. Водорослевые обрастания реки Оби / А. В. Солоневская // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1970б. – Ч. 1 (3). – С. 58–61.

154. Скабичевский А. П. Планктонные диатомовые водоросли пресных вод СССР / А. П. Скабичевский. – Москва: Изд-во МГУ, 1960. – 350 с.
155. Скабичевский, А. П. О распределении донной растительности Байкала в районе Больших Котов / А. П. Скабичевский // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1966. – Т. 71, № 6. – С. 108–119.
156. Скабичевский, А. П. О некоторых популяциях стефанодискуса звездчатого (*Stephanodiscus astraea* (Ehr.) Grun.) / А. П. Скабичевский // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы: отд-ние биол. – Москва, 1973. – Т. 78, вып. 2. – С. 134–140.
157. Скабичевский, А. П. Популяции *Stephanodiscus dubius* (Fricke) Hust. в Новосибирском водохранилище / А. П. Скабичевский // Водные и наземные сообщества низших растений Сибири. – Новосибирск, 1974а. – С. 115–121.
158. Скабичевский, А. П. Внутривидовая эволюция низших растений и вопросы таксономии / А. П. Скабичевский // Проблемы филогении низших растений. – Москва, 1974б. – С. 7–19.
159. Сладечек, В. Общая биологическая схема качества воды / В. Сладечек // Санитарная и техническая гидробиология. – Москва, 1967. – С. 26–31.
160. Смоляков, Б. С. Поведение Cu, Pb, Cd в пресном водоеме: влияние минеральных взвешенных частиц и планктонных организмов / Б. С. Смоляков, А. П. Рыжих, Р. Е. Романов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2010. – № 5. – С. 603–614.
161. Сравнительные оценки качества воды в Новосибирском водохранилище на основе лимнологических MERIS-моделей и данных высокого разрешения Worldview-2 / Н. М. Ковалевская [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – № 1. – С. 176–186.
162. Тарабенко, С. Я. Гидрохимический режим и качество воды основных притоков Новосибирского водохранилища / С. Я. Тарабенко, И. В.

Варламова, С. Н. Охалин // География и природ. ресурсы. – 1998. – № 4. – С. 38–44.

163. Толмачев, А. И. Введение в географию растений / А. И. Толмачев. – Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1974. – 243 с.

164. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона / И. С. Трифонова. – Ленинград: Наука, 1990. – 182 с.

165. Трофимова, В. В. Суточная динамика хлорофилла «а» фитопланктонного сообщества эстuarной зоны Кольского залива / В. В. Трофимова, П. Р. Макаревич // Альгология. – 2009. – № 2. – С. 145–154.

166. Удилова, Т. С. Фитопланктон Бердского залива Новосибирского водохранилища в связи с вопросом водоснабжения города Бердска / Т. С. Удилова // Водоросли и грибы Западной Сибири. – Новосибирск, 1965. – Ч. 2. – С. 35–44.

167. Управление состоянием берегов водохранилищ / А. Ш. Хабидов [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 239 с.

168. Федоров, В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности / В. Д. Федоров. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 168 с.

169. Федоров, В. Д. Руководство по гидробиологическому контролю качества природных вод / В. Д. Федоров, В. И. Капков. – М: Христианское изд-во, 2000. – 120 с.

170. Филимонов, В. С. Особенности суточной динамики и вертикального распределения биолюминисценции во время «цветения» водорослей в прибрежных водах Японского моря / В. С. Филимонов, Г. М. Садовская // Оптика атмосферы и океана. – 2006. – № 1 – С. 99–103.

171. Формирование гидролого-гидрохимического режима Верхней Оби на участке Новосибирского водохранилища в условиях изменения природно-техногенной ситуации / В. М. Савкин [и др.] // Сиб. эколог. журн. – 2003. – № 2. – С. 171–179.

172. Фортунатов, М. А. О проточности и водообмене водохранилищ / М. А. Фортунатов // Труды Института биологии внутренних вод АН СССР. – Ленинград, 1974. – С. 111–116.
173. Хабидов А. Ш. Развитие рельефа области преимущественно флювиального морфолитогенеза крупного равнинного водохранилища долинного типа / А. Ш. Хабидов Е. А. Федорова, К. В. Марусин // Изв. Алт. гос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 129–132.
174. Хабидов, А. Ш. Многолетняя изменчивость морфометрических характеристик чаши Новосибирского водохранилища / А. Ш. Хабидов Е. А. Федорова, К. В. Марусин // Геоморфология. – 2011. – № 2. – С. 49–54.
175. Химические формы тяжелых металлов в воде Новосибирского водохранилища: оценка их биодоступности и потенциальной экологической опасности для планктона / Г. А. Леонова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2006. – № 14. – С. 453–465.
176. Царенко, П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / П. М. Царенко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
177. Чайковская, Т. С. Фитопланктон участка Новосибирского водохранилища, прилегающего к Академгородку / Т. С. Чайковская // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 1970. – Ч. 1. – С. 30–40.
178. Шитиков, В. К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В. К. Шитиков, Г. С. Розенберг, Т. Д. Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
179. Шмидт В. М. Статистические методы в сравнительной флористике / В. М. Шмидт. – Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 176 с.
180. Экологическое состояние Новосибирского водохранилища / О. Ф. Васильев [и др.] // Сиб. эколог. журн. – 2000. – № 2. – С. 149–163.
181. Эйрих А. Н. Микроэлементы в воде Новосибирского водохранилища / А. Н. Эйрих, Е. Ю. Друпина // Мир науки, культуры, образования. – 2011. – № 2. – С. 323–327.

182. Этапы становления гидробиологического режима Новосибирского водохранилища / Л. А. Благовидова [и др.] // Круговорот вещества и энергии в озерах и водохранилищах : Третье совещ.: краткое содерж. докл., 2–8 сент. 1973 г. – Лиственичное-на-Байкале, 1973. – С. 147–149.

183. Якубова, А. И. Основные черты водорослевой растительности реки Оби в ее верхнем течении / А. И. Якубова // Материалы по изучению природы Новосибирского водохранилища. – Новосибирск, 1961. – С. 65–79.

184. Яныгина, Л. В. Оценка качества донных отложений Новосибирского водохранилища методами биоиндикации и биотестирования / Л. В. Яныгина, В. В. Горгуленко // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 25-летнему юбилею ИВЭП СО РАН. – Барнаул, 2012. – Т. 2. – С. 220–223.

185. Краткий обзор погоды и синоптических процессов на территории Новосибирской, Томской, Кемеровской областей, Алтайского края и Республики Алтай за 2016 [Электронный ресурс]. – Новосибирск, [2016]. – Режим доступа: <http://www.meteo-nso.ru/gidarticles>. – (дата обращения 30.08.2018).

186. Михайлов, В. В. Динамика развития летнего фитопланктона Новосибирского водохранилища в 2017 году [Электронный ресурс] / В. В. Михайлов, А. В. Котовщикова // 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, 2017. – С. 426–430. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32373241>. – (дата обращения 28.04.2019).

187. 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.

file:///C:/Users/User/Downloads/2\_29\_2019%20(1).pdf. – (дата обращения 30.04.2019).

188. РД 52.24.309–2011 Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением ПВС. – Ростов-на-Дону, 2011. – 87 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docviewer.yandex.ru/view/668200004/?\\*=dfbJ9th4oS9k9btN4NXrqaMWgyh7InVybcI6Imh0dHA6Ly9lbGliLnJzaHUucnUvZmlsZXNfYm9va3MvcGRmL2lt](https://docviewer.yandex.ru/view/668200004/?*=dfbJ9th4oS9k9btN4NXrqaMWgyh7InVybcI6Imh0dHA6Ly9lbGliLnJzaHUucnUvZmlsZXNfYm9va3MvcGRmL2lt). – (дата обращения 30.04.2020).

189. Р 52.24.763–2012 Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей. – Ростов-на-Дону, 2012. – 22 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://docviewer.yandex.ru/view/668200004/?page=1&\\*=iI9TXx1pt43iMDok0ARgD6J9FZJ7InVybcI6Imh0dHA6Ly9lbGliLnJzaHUucnUvZmlsZXNfYm9va3M](https://docviewer.yandex.ru/view/668200004/?page=1&*=iI9TXx1pt43iMDok0ARgD6J9FZJ7InVybcI6Imh0dHA6Ly9lbGliLnJzaHUucnUvZmlsZXNfYm9va3M). – (дата обращения 30.04.2020).

190. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2017 году. – Новосибирск, 2018 – 225 с. [Электронный ресурс] – Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области.– Режим доступа: <https://dlh.nso.ru/page/2245> – (дата обращения 05.03.2020).

191. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2018 году. – Новосибирск, 2019 – 162 с. [Электронный ресурс]. – Министерство природных ресурсов и экологии Новосибирской области.– Режим доступа: <https://dlh.nso.ru/page/2245>. – (дата обращения 05.03.2020).

192. СанПиН 4630–88 Санитарные нормы и правила охраны вод от загрязнения. – Москва, 1988. – [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант–Сервис». – Москва, [2019]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/2162694/>. – (дата обращения 03.07.2019).

193. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae / Hillebrand [et al.] // *J. Phycol.* – 1999. – V. 35. – P. 403–424.
194. Chlorophyta. 1 Teil: Phytomonadina. Süsswasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 9 / H. Ettl [et al.]. – Jena : Gustav Fisher Verlag, 1983. – 807 s.
195. Komárek, J. Cyanoprokaryota. 1 Teil: Chroococcales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1 / J. Komárek, K. Anagnostidis. – Berlin: Spektrum Akademischer Verlag, 1998. – 523 s.
196. Komárek, J. Cyanoprokaryota. 2 Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/2 / J. Komárek, K. Anagnostidis. – München: Elsevier GmbH, 2005. – 759 s.
197. Krammer, K. Bacillariophyceae. 1 Teil : Naviculaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 2 / K. Krammer, H. Lange-Bertalot. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. – 876 s.
198. Krammer, K. Bacillariophyceae. 2 Teil : Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 2 / K. Krammer, H. Lange-Bertalot. – Jena : Gustav Fischer Verlag, 1988. – 596 p.
199. Krammer, K. Bacillariophyceae. 4 Teil : Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Gesamtliteraturverzeichnis. Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 2 / K. Krammer, H. Lange-Bertalot. – Jena : Gustav Fischer Verlag, 1991a. – 434 s.
200. Krammer, K. Bacillariophyceae. 3 Teil : Centrales, Fragilariaeae, Eunotraceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 2 / K. Krammer, H. Lange-Bertalot. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991b. – 576 p.
201. Lange-Bertalot, H. 85 New taxa and much more than 100 taxonomic clarifications supplementary to Süßwasserflora von Mitteleuropa: vol. 2/1–4 / H. Lange-Bertalot. – Berlin; Stuttgart: J. Cramer, 1993. – 164 p.
202. Lange-Bertalot, H. *Navicula* sensu stricto, 10 Genera separated from *Navicula* sensu lato, Frustulia / H. Lange-Bertalot. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.G., 2001. – 526 p.

203. Popovský, J. Dinophyceae (Dinoflagellida). Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Bd. 6 / J. Popovský, L. A. Pfiester. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1990. – 272 p.
204. Sládeček V. System of water quality from the biological point of view / V. Sládeček // Arch. Hydrobiol. Beiheft., Beiheftz., Ergebnisse der Limnol. – 1973. – Vol. 7. – P. 1–218.
205. Starmach, K. Chrysophyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa : Bd. 1 / K. Starmach. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1985. – 515 s.
206. Tsarenko, P. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography / P. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo. – Rugell : A. R. Gantner Verlag, 2006. – Vol. 1. – 755 p.
207. Tsarenko, P. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography / P. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo. – Rugell : A. R. Gantner Verlag, 2011. – Vol. 3. – 511 p.
208. Commission Directive 2014/101/EU of 30 October 2014 amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0101&format=en>. – (Accessed: 30.04.2018).
209. Guiry, M. D. AlgaeBase. World-wide electronic publication [Electronic resource] / M. D. Guiry, G. M. Guiry. – National University of Ireland, Galway. – Access mode: <http://www.algaebase.org>. – (Accessed: 4.09.2018).
210. Коршиков, О. А. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Підклас протококові / О. А. Коршиков. – Київ: Вид-во АН УРСР, 1953. – Т. 5. – 439 с.
211. Скабичевський, А. П. Новий рід діатомових водоростей Stephanocyclus Skabitsch. gen. nov. / А. П. Скабичевський // Укр. бот. журн. – 1975. – № 1. – С. 205–209.

ПРИЛОЖЕНИЯ