МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(магистерская диссертация)

На тему **«Динамика структурных показателей фитопланктона и концентрации хлорофилла "а" в ряде озер Валаамского архипелага»**

Исполнитель **Тропина Полина Александровна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **К.б.н**
(ученая степень, ученое звание)

Воякина Екатерина Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

канд. геогр. наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович
(фамилия, имя, отчество)

«29» 06 2022.

Санкт–Петербург, 2022

Оглавление

Глава 1. Литературные данные 5
1.1 Сравнение с озерами Карелии и Карельского перешейка 5
1.2 Хлорофилл – а 6
1.3 Фитопланктон 9
1.4 Фитопланктон водной системы Валаама 12
1.5 Концентрация хлорофилла – а внутренних озер Валаамского архипелага 17
Глава 2. Физико-географическое положение 18
2.1 Природные особенности Валаамского архипелага 18
2.2 Природные особенности исследуемых озер 21
Глава 3. Материалы и методы 24
3.1 Методы определения концентрации хлорофилла «а» 24
3.2 Методы определения фитопланктона 25
3.3 Расчет индекса Шеннона 27
Глава 4. Результаты 28
4.1 Гидрохимические особенности исследуемых озер 28
4.3 Анализ структурных показателей фитопланктона малых озер Валаамского архипелага 29
4.3.1 Флористический состав фитопланктона 29
4.3.2 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Оссиево за вегетационный период 2021 года 34
2.2.2 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Антоньевское за вегетационный период 2021 года 39
4.3.3 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Лещевое за вегетационный период 2021 года 44
4.3.4 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Германовское за вегетационный период 2021 года 51
4.3.5 Сравнение структурных показателей фитопланктона в исследуемых озерах 57
4.3.6 Индекс Шеннона 59

4.2 Расчет концентрации хлорофилла «а» малых озер Валаамского архипелага 60
4.3. Выводы 67
Список используемых источников 69

Введение

Каждое озеро – самостоятельная система, на состояние которой влияет множество факторов: от происхождения котловины до состава веществ, поступающих с поверхностными стоками. Валаамский архипелаг – зона повышенного интереса в исследовательском отношении. Это территория, не только находящаяся в особых природных условиях, но и сохраняющая в настоящее время фоновые черты. Малые озера Валаама отличаются от водоемов Карелии в силу особенностей происхождения Валаамского архипелага. В данной работе проводится анализ динамики структурных показателей фитопланктона и концентрации хлорофилла «а» в ряде озер Валаамского архипелага. Изучив эти показатели, можно не только отследить динамику за сезон, но и определить трофический статус водоема. Виды-индикаторы фитопланктона также позволяют дать оценку экологического состояния водоема, с целью дальнейшего формирования рекомендаций.

Цель работы: изучение динамики структурных показателей фитопланктона и концентрации хлорофилла «а» в ряде озер Валаамского архипелага

Задачи работы:

1. Рассмотреть характерные особенности лимнологических параметров озер Валаамского архипелага
2. Изучить физико-географическое положение и природные особенности Валаамского архипелага
3. Проанализировать полученные результаты концентрации хлорофилла «а» 2021 года и оценить динамику в разнотипных озерах
4. Проанализировать динамику развития фитопланктона в озерах Валаама
5. Сравнить биомассу фитопланктона разнотипных озер в 2021 году и выделить виды-доминанты
6. Определить трофический статус и тип исследованных озер

Глава 1. Литературные данные

1.1 Сравнение с озерами Карелии и Карельского перешейка

Озера материковой Карелии имеют некоторые отличительные черты от малых озер о. Валаам. Прозрачность озер составляет от 1,5 до 8 метров, в зависимости от объема поступления гумусовых веществ, тогда как озера острова Валаам имеют прозрачность от 0,5 м до 2 м.

Значения содержания органического вещества находятся в диапазоне от 3 до 15 мгО/л, что характеризуется как повышенное содержание. В исследуемых озерах Валаамского архипелага значения ПО могут достигать до 45 мгО/л.

Содержание растворенного углекислого газа на территории Карелии и Карельского перешейка составляет от 2 до 5 мг/л, на острове Валаам – 5-16 мг/л.

Озера Карелии и Карельского перешейка более насыщенны кислородом, чем озера о. Валаам, где максимальные значения насыщения составляют 95% на поверхности и повсеместно распространены заморные явления.

Концентрация хлорофилла «а» в озерах Карелии находится в диапазоне от 0,7 до 7 мкг/л. Такие значения могут быть объяснены эвтрофикацией озер, что, чаще всего, связано с поступлением аллохтонного органического вещества с поверхностными и сточными водами.

Активная реакция среды в озерах материковой Карелии в основном имеет значения от слабокислой до слабощелочной. На острове Валаам в большинстве малых озер реакция среды от слабокислой до кислой.

Все вышесказанное объясняется особенностями рельефа и происхождения Валаамского архипелага.

Рассмотренные озера охватывают все типы озер Валаамского архипелага. Остров Валаам интересен не только, как природный объект со своими особенностями, но и как территория, сохраняющая фоновые значения, что еще раз подтверждает практическую ценность выполненной работы.

Основные черты, объединяющие малые озера острова Валаам:

1. Ярко выраженная температурная стратификация, особенно в термически глубоких озерах – Игуменском и Черном. Максимальное значение Δt наблюдалось в 2018 г в озере Игуменское, минимальное – в озере Лещевое.

2. Для исследованных озер характерен неблагоприятный кислородный режим. В озерах Игуменское, Черное и Германовское был отмечен дефицит кислорода в придонных горизонтах, что вызывает заморные явления. Во всех озерах насыщение кислородом не превышает 95% на поверхности.

3. Отличительная черта исследованных озер – более низкие значения прозрачности по сравнению с озерами материковой Карелии - 1,7-8,0 м против 0,5-2,0 м на Валааме.

4. Высокие значения ПО, отмеченные в исследованных озера, связанны с высоким содержанием биогенных элементов в слагающей архипелаг породе и особенностями происхождения о. Валаам.

1.2 Хлорофилл – а

Хлорофилл «а» – основной фотосинтезирующий пигмент фитопланктона. Он содержится во всех зеленых растениях. Изучив концентрацию, пространственное распределение, характер изменчивости во времени можно делать выводы о биомассе фитопланктона и его продукции, а также определять качество и трофический статус природных вод.

Помимо того, что по концентрации хлорофилла «а» можно определить такие процессы как миграция и трансформация органического вещества, она также характеризует взаимодействие процессов продукции и деструкции. На основании данных о концентрации хлорофилла «а» можно делать прогнозы об антропогенном воздействии на водный объект.

Так как хлорофиллы - фотосинтезирующий пигмент, они выполняют такие функции как поглощение, преобразование и трансформация света.

Самое лучшее поглощение происходит в синей области спектра – длина волны 430-460 нм и красной – 650-700 нм. Зеленый цвет растения приобретают за счет отражения зеленой области спектра [9].

У высших растений основными хлорофиллами считаются хлорофилл «а» и хлорофилл «б», которые являются частью реакционных центров фотосистем и светособирающих комплексов мембран тилакоидов хлоропластов. Светособирающие комплексы улавливают кванты света и передают энергию к фотосистемам I и II, то есть к пигмент-белковые комплексам, играющим важнейшую роль в световой фазе фотосинтеза растений [8].

Концентрация хлорофилла «а» обладает суточной изменчивостью, за счет того, что низкая и высокая интенсивность света чередуются [10].

Хлорофилл «а» (химическая формула $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) является прямым индикатором трофического состояния водного объекта. Он принимает непосредственное участие в фотосинтезе, то есть его концентрация в пробе воды – индикатор биомассы водорослей. Измерение концентрации хлорофилла «а» позволяет определить степень эвтрофирования водоемов, именно поэтому данный показатель часто используется при определении реакции водоемов на антропогенную нагрузку с целью мониторинга или их восстановления [9].

Как уже было сказано выше, по химическому строению хлорофиллы - магниевые комплексы различных тетрапирролов. Так как данное соединение пристутсвует во всех фотосинтезирующих организмов - высших растениях, водорослях, сине-зелёных водорослях (цианобактериях), фотоавтотрофных простейших (протистах) и бактериях и используется для определения степени загрязнения водоемов, для этой цели было создано несколько методов [10].

Биологический метод оценки качества воды по содержанию фотосинтетических пигментов часто применяется для оценки состояния водотоков и водоемов и определения качества воды в них. Важнейшее значение фотосинтезирующих пигментов в мониторинге обусловлено их прямым участием в процессе образования органического вещества при фотосинтезе и огромной ролью этих соединений как экологических маркеров при изучении продукционных и деструкционных процессов в водоеме [11].

Значение автотрофных организмов в существовании и функционировании водных и наземных экосистем крайне высоко. В водоемах первичную продукцию синтезируют такие сообщества, как фитопланктон, перифитон и высшая водная растительность. Эти хлорофиллсодержащие организмы создают энергетическую основу для всех последующих звеньев трофической цепи [11].

Изучив количественные характеристики первичной продукции, можно определить эффективность продукционных процессов и степень эвтрофикации водоемов. Они составляют основу их трофической и рыбохозяйственной классификации, эти показатели используются для эколого-санитарной оценки качества вод [9]. И среди этих показателей хлорофилл «а» занимает далеко не последнее место. По данному показателю оценивают степень развития водорослей, их биомассу, ассимиляционную активность, косвенно первичную продукцию, делают выводы об уровне нагрузки биогенными элементами водных объектов в целом.

Согласно «Единым критериям качества природных вод», принятым странами СЭВ в 1982 году по концентрации хлорофилла «а» для оценки трофического статуса вод и определения качества воды выделяется 6 классов качества воды в водных объектах.

Однако, для оценки трофности водоемов используется множество показателей. Чаще для количественной оценки трофности используют концентрацию хлорофилла «а». Но его численные значения для одних и тех же типов вод у разных авторов значительно отличаются. Так, например, для эвтрофных водоемов этот диапазон находится в промежутке между 6 мкг/л и 100 мкг/л [11].

1.3 Фитопланктон

Фитопланктон – группа водорослей, которая в настоящее время считается наиболее изученной. Она присутствует практически во всех водных объектах, обитает преимущественно в той зоне, куда проникает солнечный свет. В основном фитопланктон это одноклеточные водоросли, которые имеют раземры от менее 5 мкм - мелкие жгутиковые и коккоидные виды, крупными (до 500 мкм) считаются колониальные, например *Volvox* [12]. В пресных водах могут встречаться нитчатые и колониальные формы. Служит пищей для зооплактона и зообентоса, являясь первичным продуцентом органического вещества в водоеме, то есть с него начинается трофическая цепь.

Среди фитоплактона выделяют 2 группы: сетной планктон, улавливаемый сетями с размером ячейки примерно 64 мкм, и более мелкий – нанопланктон [13].

Морские формы фитопланктона отличаются тем, что имеют выраженные выросты, используемые морскими видами фитопланктона для парения и защиты от выедания зоопланктонными организмами, которых пресноводные виды обычно не имеют.

Пресноводные формы фитопланктона, в свою очередь, имеют большее разнообразие зеленых и синезеленых водорослей. Особенно многочисленны среди зеленых одноклеточные и колониальные вольвоксовые и протококковые: виды хламидомонад (*Chlamydomonas*), гониума (*Gonium*), вольвокса (*Volvox*), педиаструма, сценедесмуса, ооцистиса, сфероцистиса *(Sphaerocystis*) и другие. Среди сине-зеленых наиболее распространены виды

анабены, микроцистиса, афанизоменона, глеотрихии (*Gloeotrichia*) и другие [14].

В пресных водоемах большая встречаемость зеленых и сине-зеленых водорослях, а в морских, напротив, большее биоразнообразие диатомовых водорослей. По продуктивности в морских и пресных водоемах роль диатомовых водорослей на единицу площади примерно равна. Наименее эти отличия заметны в крупных озерах, таких как Байкал, Онежское озеро, Ладожское озеро, где отличия от морского фитопланктона практически не наблюдаются [14].

Пресные водоемы отличаются большим разнообразием экологических ниш для существования фитопланктона, за счет чего встречаются временнопланктонные виды водорослей. Часто типично планктонные виды имеют в жизненном цикле фазу прикрепления к какой-либо поверхности.

Если водоем подвержен значительному антропогенному воздействию, то в нем сине-зеленые водоросли вытесняют диатомовые, например, такая ситуация сейчас наблюдается в крупных озерах Российской Федерации.

Водоросли чаще всего обитают в фотической зоне, так как условия достаточного поступления солнечного света способствуют фотосинтезу и поступлению биогенных соединений. Однако, вертикальное перемещение организмов способствует получению большего количества питательных веществ, избеганию опасного солнечного излучения у поверхности воды и является способом защиты от консументов [13].

Планктонные сине-зеленые водоросли имеют свойство плавучести, которая обеспечивается специальными плавательными приспособлениями, так называемыми газовыми вакуолями, которые состоят из нескольких тесно упакованных цилиндров, или пузырьков, окруженных белковой мембраной [12].

Клетки *Anabaena flos-aquae* обладают преимуществом перед другими планктонными видами, так как обладают газовыми вакуолями, которые позволяют им вертикально перемещаться в столбе воды. Они могут

перемещаться, задерживаясь в слоях воды, где наилучшие условия, способствующие росту и размножению, при ярких солнечных лучах их способность к плавучести снижается, поэтому эти водоросли образуют «цветение» воды [15].

Некоторые виды фитопланктона обладают возможностью адаптироваться, изменяя свою фотосинтетическую реакцию на свет. То есть, клетка, которая находится в нижней части освещенной зоны, может увеличивать концентрацию хлорофилла «а» и снижать уровень светового насыщения фотосинтеза. В этот момент увеличивается число тилакоидов на клетку, то есть с уменьшением освещенности возрастает размер фотосинтетической единицы.

В пресных водоемах большим разнообразием обладает фитопланктон, представленный сине-зелеными водорослями – *Cyanophyta* [14]. В морском планктоне они встречаются крайне редко. Наиболее частая встречаемость у нитчатых и коллониальных форм фитопланктона. Например, виды рода *Microcystis*, различные виды *Gomphosphaeria*, *Merismopedia*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*. «Цветение» воды чаще всего вызывают такие виды, как: *Microcystis aeruginosa и f. flos aquae, Woronichinia naegeliaana, Aphanizomenon flos aquae* [14].

Диатомовые водоросли являются индикаторами степени солености воды, поэтому чаще встречаются в морских водных объектах. В пресных озерах наибольшей распространенностью обладают виды, которые относятся к отделу *Bacillariophyta* [13].

Фитопланктону необходимы как неорганические, так и органические биогенные соединения, которые представлены в водоемах в растворенном виде. Все водоросли нуждаются в одинаковых макроэлементах, поэтому особую роль играет их доступность. В наибольшей концентрациях водорослям необходимы фосфаты и соединения азота.

Фитопланктон практически никогда не распределен равномерно по водоему. По горизонтали пятна достигают размеров от менее миллиметра до

десятков или даже сотен километров [14]. Вертикальное распределение также неравномерно. Изменения изменчивы во времени: они бывают суточными, сезонными или долговременными, длящимися много лет.

Водоросли суточной цикличностью (клеточное деление, вертикальная миграция, фотосинтетическая активность, поглощение биогенов), но у разных видов ритмы различаются, из-за этого этот экологический фактор служит механизмом, влияющим и сглаживающим конкуренцию между различными видами фитопланктона.

Ярко выражена сезонная изменчивость, так, например, в холодное время года биомасса водорослей и их биологическая продуктивность значительно снижаются из-за более низких температур и недостаточного количества света. В теплое время года, напротив, увеличивается освещенность, количество биогенных элементов, возрастает скорость размножения клеток, что нередко приводит к «цветению» водоема. Цветение продолжается пока выедание консументами водорослей и истощение ими запаса биогенов не приводят к летнему спаду обилия.

Скорость развития фитопланктона, его биомасса в водоеме активно используются для определения трофического статуса и экологического состояния водного объекта. Это обусловлено тем, что микроводоросли являются индикаторами и первые воспринимают загрязнитель, попавший в водоем, так как поступление с водосбора аллохтонного органического вещества может приводить к увеличению первичных продуцентов в водоеме, в первую очередь, это влияет на рост и развитие фитопланктона[13].

Обычно при расчете количественного содержания фитопланктона, биомасса рассчитывается на 1 литр воды.

1.4 Фитопланктон водной системы Валаама

Водоемы Валаамского архипелага разнотипны, встречаются участки от олигомезогумозных нейтрально-щелочных до полигумозных полиацидных по классификации Китаева 1984 г.[17] В целом, несмотря на разнотипность, все

озера сохраняют естественный режим функционирования, следовательно, изучив фитоплантонный состав можно сделать выводы о состоянии водных экосистем.

Первые исследования фитопланктона малых внутренних озер Валаама проводились еще в 1989 году. Пробы были отобраны преимущественно с поверхности водоемов, обнаружено 183 вида водорослей, относящихся к 7 отделам. Самыми многочисленными оказались группы зеленых и дитомовых водорослей. Среди них, в Лещевом озере был отмечен массовый крупноразмерный вид *Gonyostomum semen* (*Raphidophyta*) [18].

Наиболее детальные исследования природы Валаамского архипелага, в том числе и альгофлоры водных экосистем, были начаты в 1988 г. в ходе работы Валаамской экспедиции Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. Основное внимание при изучении озер было уделено перифитону и сетному литоральному фитопланктону. Анализ систематического состава альгофлоры Валаамского архипелага впервые приводится в работе М.А. Маринич (1991). Тогда в водной системе Валаама было обнаружено 357 видов и внутривидовых таксонов, принадлежащих к 10 отделам (Маринич, 1991). Дальнейшие исследования позволили пополнить список до 691 вида и внутривидового таксона. В составе именно фитопланктона водной системы архипелага было обнаружено 274 вида, разновидности и формы водорослей [17].

В более современных исследованиях во внутренних озерах Валаамского архипелага определено 343 видов, разновидностей и форм водорослей, принадлежащих к 9 отделам, из них: *Cyanophyta* - 38, *Euglenophyta* - 59, *Dinophyta* - 17, *Cryptophyta* – 13, *Raphidophyta* – 1, *Chrysophyta* - 30, *Bacillariophyta* - 73, *Xanthophyta* - 7, *Chlorophyta* - 105. В процентном соотношении по числу видов – зеленые – 31%, диатомовые 22%, эвгленовые – 18%, синезеленые – 11% [17].

Водоросли отдела *Chlorophyta* отмечены наибольшим видовым богатсвом и были отмечены в водоемах в течение всего сезона, как доминантные[18].

В Германовском озере отмечено большое разнообразие диатомовых водорослей, так как в данном водоеме преобладают случайно-планктонные виды фитопланктона. Данное озеро считается ацидным водоемом и является одним из водоемов с максимальной цветностью.

Озера Антоньевское и Оссиево имнют сходства в сезонной динамике фитопланктона. Биомасса в этих озерах ниже, чем в других водоемах Валаама. Доминирующими отделами здесь отмечены диатомовые, золотистые, хлорококковые, рафидофитовые водоросли и цианобактерии, создавая один или два пика вегетации. Чаще всего раннелетний пик был за счет вегетации золотистых и диатомовых водорослей. Пик в оссений период создается за счет «цветения» цианобактерий и рафидофитовых водорослей. Доминатными считаются виды рода *Synedra* Ehr., *Dinobryon divergens,* виды рода *Monoraphidium* Kom.Leg., *Botryococcus braunii* Kütz., *Aphanizomenon flos aquae, Gonyostomum semen* (Ehr.) Diesing [17].

Водоросли из отдела *Euglenophyta* также характеризуются видовым богатством. Все они принадлежали к семейству *Euglenaceae,* большинство относилось к родам *Trachelomonas, Euglena* и *Phacus*. Все представители этого отдела встречались постоянно в планктоне малых озер, достигая периодически значительного обилия и входя в состав доминант, особенно виды рода *Trachelomonas* [17]. Водоросли этого отдела нетипичны для Северо-Запада России.

Водоросли из отдела *Cyanophyta*, как и представители отделов *Chlorophyta* и *Bacillariophyta*, были встречены в течение всего сезона открытой воды на всех исследованных участках акватории. Многие представители этого отдела активно вегетировали и были абсолютными доминантами в августе – сентябре, как в озерах, так и на побережье, при этом в августе на многих местах отбора проб они вызывали «цветение» воды.

Единственный представитель отдела *Raphidophyta - Gonyostomum semen*, был широко распространен и встречался в течение всего сезона открытой воды в планктоне практически всех озер. В мае в озере Антониевском этот вид входил в состав субдоминат. В конце лета – сентябре в большинстве озер *Gonyostomum semen* вегетировал в массе с максимальными для водной системы показателями обилия. В тоже время, в полиацидном озере Германовское этот вид встречался крайне редко и никогда не достигал значительных показателей обилия. Можно сказать, что данный вид является отличительной особенностью водных экосистем острова.

Остальные группы водорослей не играли существенного значения в озерах о. Валаам [17].

Во всех малых озерах о. Валаам *G.semen* присутствовал практически постоянно и создавал максимальную биомассу. Считается, что этот вид хорошо приспособлен к водам с высоким содержанием гуминовых соединений и низким значениям pH. [18] В тоже время, если судить по данным, полученным по фитопланктону малых озер о. Валаам, видно, что именно в полигумозным и полиацидных водоемах *G.semen* не развивался массово. В последнее время появились данные, что возможно, лимитирующим фактором для него является низкая минерализация воды [19].

Также было обнаружено 11 общих видов, пристутвующих во всех водоемах Валаамского архипелага. Это *Dinobryon divergens, Aulacosira italica, Synedra vaucheriare, Rhodomonas lacustris, Chroomonas acuta, виды р Cryptomonas (C erosa, C ovata), Trachelomonas volvocina, Monoraphidrum griffithii* [18].

Большинство видов фитопланктона относятся к планктонным, чуть меньше к литоральным и незначительное количество (примерно 7%) к бентосным формам.

При анализе обилия фитопланктона были выявлены значительные диапазоны численности и биомассы, как в конкретном озере, так и для всех малых озер. Наименьшие средние значения численности отмечены для озер

Черное, Оссиево. Среднемноголетнее значение численности в озерах существенно различается.

По среднемноголетним значениям биомассы озера различаются на один порядок. В целом для озерной группы среднемноголетняя биомасса была 11,2 мг/л. По средним значениям биомассы озера условно можно разделить на три группы:

1) озера с биомассами в два раза ниже средней (Игуменское, Черное и Германовское);

2) озера с биомассами в два раза выше средней (оз. Витальевское);

3) все остальные озера с биомассами близкими к средней. Минимальный разброс биомассы был характерен для озер Черное и Игуменское. Максимальный – для оз. Витальевское. Межгодовые колебания связаны с температурой и уровненем воды в водоемах [16].

Такие значительные диапазоны численности и биомассы связаны с межгодовой изменчивостью. В связи с тем, что для биомассы характерен меньший разброс значений, при анализе озер этот показатель использовали чаще, чем численность.

Максимальные средние среднемноголетние значения индекса Шеннона по численности отмечены в озере Лещевое, что связано со значительным числом видов в пробах (от 18 до 56, среднее число видов в пробе - 34) и большим количеством доминирующих видов на протяжении всего периода исследования. Низкое видовое разнообразие отмечено в озере Оссиево из-за монодоминирования крупноклеточного вида рафидофитовых водорослей (*Gonyostomum semen*) [19].

В целом, за счет небольшой территории Валаамского архипелага, отмечается сходство видов фитопланктона в разных водоемах.

Большинство исследуемых озер имеют черты эвтрофии. За счет большей глубины, в Черном озере формируется не только фотическая, но и афотическая зона. В остальных исследуемых озерах большую часть водной массы занимает фотическая зона.

1.5 Концентрация хлорофилла – а внутренних озер Валаамского архипелага

Содержание хлорофилла в озерах Валаамского архипелага неоднородное, различается в разнотипных озерах и меняется в зависимости от времени года и в течение сезона. Это объясняется различиями температуры воды и температурной стратификацией, которая характерна для данных водоемов. Самый большой диапазон концентрации хлорофилла «а» наблюдается в интегральных пробах, диапазон значений от 0,03 мкг/л до 97,4 мкг/л. Отмечена сезонная изменчивость – самые низкие значения наблюдаются в июне, самые высокие – в августе. Такая закономерность характерна практически для всех озер. Для исследуемых озер самая большая концентрация хлорофилла-а в период с 1999 по 2014 г отмечена в озере Оссиевом, наименьшая – в Германовском озере.

Большинство озер относится к мезотрофным водоемам, например, Германовское и Антоньевское озера.

Глава 2. Физико-географическое положение

2.1 Природные особенности Валаамского архипелага

Валаамский архипелаг, состоящий из полусотни островов разного размера, имеет уникальное значение и особенности, так как до недавнего времени его природа оставалась нетронутой – полностью отсутствовали источники химического и антропогенного загрязнения в связи с удаленностью от материка. Его площадь 3600 га [1]. Находится в северо-восточной части Ладожского озера, в сорока километрах от берега [2]. Относится к республике Карелия, Сортавальскому району. Является особо охраняемой природной территорией регионального значения республики Карелия с 4 ноября 1999 года [1]. Природный парк «Валаамский архипелаг» охватывает весь архипелаг и прилегающую акваторию Ладожского озера, всего 24700 га. Крупнейшим островом архипелага является остров Валаам, именно поэтому словом «Валаам» часто называют весь архипелаг. В состав архипелага входит более 50 островов. Площадь острова Валаам 2780 га [2].

Все физико-географические характеристики обусловлены влиянием Ладожского озера. Также оно полностью определяет сток внутренних озер Валаама.

Климат острова переходный от морского климата умеренных широт к континентальному. Наблюдаются значительные температурные колебания, высокая влажность воздуха и облачность, умеренное количество осадков. Солнечных дней в летний сезон больше, чем на материке на 30-35 дней[1]. Такие особенности объясняются тем, что Ладожское озеро, окружающее остров, сглаживает экстремумы климатических параметров.

Зима мягкая, температура воздуха в феврале опускается до -8,6 °С, лето относительно теплое, со средней температурой воздуха 16,4 °С. Среднегодовая температура +3,6 °С. Среднегодовое количество осадков – 475 мм [2]. В весенне-осенний период часто наблюдаются туманы. Среднегодовой балл общей облачности – 7. Наиболее часто наблюдается в ноябре-декабре

(8,4-8,6 баллов). Летом же, напротив, облачность достигает максимум 6 баллов [2].

Наблюдается частая смена погоды, в связи с тем, что в районе Валаамского архипелага происходит столкновение контрастных воздушных масс [1]. С октября по февраль небо наиболее часто пасмурно. Так как Ладожское озеро – крупный водоем, на его островах атмосферных осадков выпадает меньше, чем на берегах, что объясняется меньшим прогревом воздуха над водоемом и температурными инверсиями. Наибольшее количество осадков выпадает в сентябре, наименьшее в феврале-марте [2]. Северная часть Ладожского озера покрывается льдом значительно позже, чем южная, в связи с значительными глубинами, а иногда не покрывается вовсе – это влияет и на световой режим, и на теплообмен с атмосферой. Вскрытие озера в этой части идет более активно, чем его замерзание [3]. Территория относится к зоне избыточного увлажнения.

Остров относится к подзоне средней тайги. Флора типично бореальная, с вкраплениями неморальных и северных видов [4]. Для нее характерны ельники-черничники без подлеска, густой древостой и полное покрытие территории мхом [2]. Вершины возвышенностей застланы лишайниками, а понижения рельефа занимают сосновые, березово-сосновые леса или ельники. Лесами покрыта большая часть острова, примерно 80%. В связи с большой лесистостью и относительно низкими летними температурами, наблюдается низкое испарение.

Множество интродуцированных пород, например, лиственница сибирская, дуб черешчатый, пихта сибирская [2]. Главной особенностью древесных растений острова является их возраст – 200-300 лет и относительная нетронутость [3]. Для растительных сообществ климат Валаама более комфортен, чем на материке, поэтому часто встречаются редкие травы и деревья.

Основным фактором, влияющим на почвообразование, является рельеф. Широко развиты склоновые процессы, проявляющиеся в переносе веществ.

Также характерны следующие типы почвообразования: подстилкообразование, гумусово-аккумулятивный процесс, торфообразование, оглинивание и оглиение. Почвы представлены различными видами подзолистых, подбурами, буроземами, примитивными почвами, болотными и антропогенными [1].

Остров находится на территории Балтийского щита. Рельеф острова сильно расчленен, в связи с тем, что образовался под воздействием покровного ледника. Образует многочисленные полуострова, узкие заливы. Представлен чередованием сельговых гряд и межсельговых понижений.

Засчет большого количества понижений, в которых образовалось множество внутренних озер, на острове встречается большое количество разнообразных микроландшафтов. Береговая линия высокая, скалистая, уклон склонов выше 5° [5]. Такой большой уклон является следствием того, что рельеф сложен породами, не поддающимися размыву. Северо-западная часть архипелага приподнята относительно юго-восточной и восточной на 20-30 метров [1]. Рельеф острова представляет собой чашу, немного накрененную на восток, так как в центре острова находится понижение. Основными горными породами являются габбро диабазы с примесью ферро-габбро диабазов. Самая высокая отметка над уровнем Ладожского озера, отмеченная на острове - 73 м [2].

На территории острова находится 11 внутренних озер, 10 из которых можно отнести к малым лесным [6]. Все они имеют различное происхождение, форму котловин и размеры.

В данной работе рассмотрены 4 внутренних озер острова Валаам – Лещевое, Германовское, Оссиево и Антоньевское озёра. Самое крупное из исследуемых – Лещевое озеро. Оно характеризуется слабым водообменом и непосредственно связано с Ладожским озером. Остальные малые озера имеют искусственные дренажные канавы. Для всех внутренних озер Валаама объединяющими характеристиками являются: выраженная температурная стратификация (максимальные различия температур между горизонтами

наблюдаются в летний период), низкая прозрачность и высокая цветность. Также особенностью малых лесных озер острова является высокое содержание железа и фосфора в воде, что объясняется особенностями подстилающих пород. В связи с различными особенностями водосборов, неравномерной антропогенной нагрузкой на территории острова, наблюдаются существенные различия между озерами [7].

Остров Валаам является стоянкой для многих видов мигрирующих птиц и играет важную роль для кольчатой нерпы, которая устраивает залежки недалеко от него.

В связи с развитием водного транспорта, в последние годы на острове начали проявляться последствия антропогенной деятельности. Развивается сельское хозяйство, строятся дороги, жилые здания, мосты, прокладываются линии электропередач, увеличивается количество автомобильного транспорта и сельскохозяйственной техники, развивается рекреационная отрасль. Зимой появляется возможность создавать ледовые трассы, то есть появляется автомобильное сообщение с островом. Ежегодно остров посещает около ста тысяч паломников и путешественников. Также с 1979 века идет развитие Валаамского монастыря, что также оказывает влияние на состояние среды и привлекает туристов [1].

2.2 Природные особенности исследуемых озер

Котловины озер образованы деятельностью ледника. Все озера, кроме Лещевого, имеют искусственные дренажные канавы. Уровень воды в них превышает уровень Ладожского озера примерно на 3 метра [2]. Все водоемы характеризуются повышенным содержанием железа и фосфора, что объясняется составом горных пород, слагающих котловины. Состав вод и исследуемые параметры имеют сезонную зависимость, так как большинство веществ органического и неорганического характера поступает с водосбора. Озера, на которых проводилось исследование, не испытывают прямую

антропогенную нагрузку. Они имеют сходные морфометрические параметры, кроме озера Лещевого.

Озеро Лещевое – самое крупное из исследуемых и второе по площади на острове. Находится на юго-западе острова. Является слабопроточным, связано с Ладожским озером. На озере проводится мелиорация, используется около 8% территории водосбора – 34,3 гектара [7]. Прибрежная растительность – смешанный лес и болотные растения. Средняя глубина станций – 1,89 м. Характеризуется активным ветровым перемешиванием, диапазон разницы температур между слоями водной толщи минимальных среди всех остальных озер. Остальные исследуемые озера имеют искусственные дренажные канавы.

Германовское озеро находится в восточной части архипелага, на заболоченной территории и окружено соответствующей растительностью. Глубина станций 1,8-3,3 м. Площади выноса и накопления веществ примерно равны. Водная толща характеризуется достаточно однородными значениями гидрохимических параметров. Заболоченная территория на берегу озера служит своеобразным фильтром, не пускающим в него избыточное количество биогенных элементов. Гидрохимический тип озера – ацидный полигумнозный мезополижелезистый водоем [7], что нетипично для озер республики Карелия.

Антоньевское озеро находится в восточной части острова. Прибрежная зона местами заболочена, поэтому водоем относится к мезотрофному типу. Глубина станций 2-3,5 м. Тип водоема – нейтральный мезополигумозный мезожелезистый.

Оссиево озеро – третье по размеру среди озер Коневской системы. Максимальная глубина озера – 2,5 метра, площадь 0,003 км^2 [7]. Площадь зарастания макрофитами более 50%. Один берег скалистый, второй болотистый. За счет небольшого размера и глубины, верхние слои прогреваются равномерно и быстро. Последние годы на водосборе Оссиева озера велись строительные работы, что оказало негативный эффект на гидрохимические параметры водоема.

Схема расположения озер и их водосборов представлена на Рисунке 1.

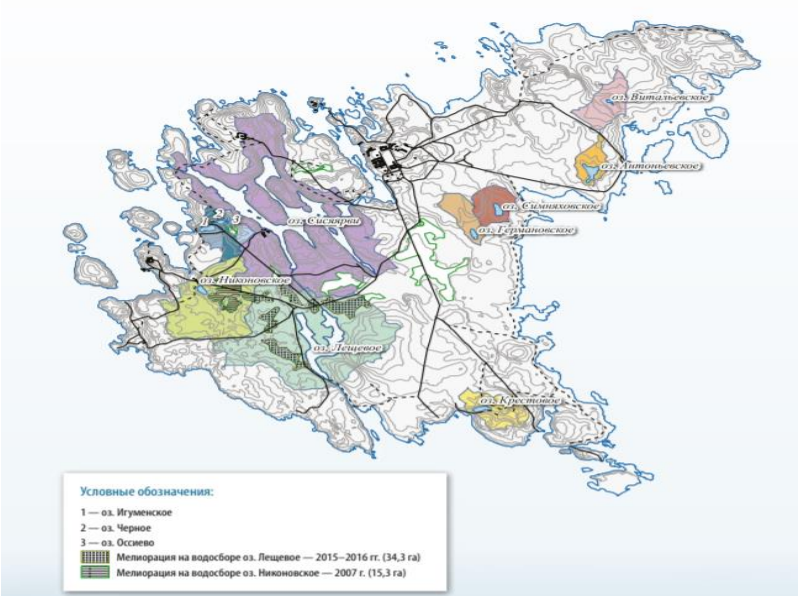

Рисунок 1 – Схема расположения озер Валаама и их водосборных площадей [1]

Глава 3. Материалы и методы

3.1 Методы определения концентрации хлорофилла «а»

В данной работе использовался метод определения концентрации хлорофилла- а по ГОСТ 17.1.4.02-90 [16].

В основе метода - спектрофотометрирование экстракта пигментов до и после его подкисления раствором соляной кислоты. Расчеты концентрации хлорофилла основываются на известных удельных спектральных показателях поглощения света хлорофиллом и основными компонентами, мешающими анализу. Этот способ основан на физико-химическом исследовании растворов. В ходе исследования происходит изучение спектров поглощения хлорофилла в ультрафиолетовой (длина волны 200–400 нм), видимой (длина волны 400– 760 нм) и инфракрасной (длина волны>760 нм) областях спектра.[16]

После отбора пробы, ее хранят в темном прохладном месте, без воздействия паров кислоты, так как хлорофилл «а» имеет свойство разрушаться при поступлении солнечных лучей, повышении температуры и при попадании кислоты.

Для приготовления экстракта пробу воды сначала фильтруют через мембранный фильтр с нанесенным на него слоем углекислого бария или магния, осадок размельчают (гомогенизируют), пигменты экстрагируют водным ацетоном из гомогената и удаляют центрифугированием из экстракта светорассеивающую взвесь [16].

Согласно стандартной методике спектрофотометрического определения хлорофилла, отсчеты оптических плотностей для расчета концентрации хлорофиллов берутся на четырех длинах волн – 664, 647, 630 и 750 нм [15]. Фотометрирование производится 2 раза: до и после добавления к экстракту нескольких капель однонормального раствора соляной кислоты в ацетоне [16]. Оптические свойства хлорофилла в ацетоновом экстракте сильно изменяются. Данные изменения обусловлены нарушением целостности хлорофилл-белково-липоидного комплекса тилакоидов. Отделенный от

хлоропласта и протеина мембран при экстрагировании, хлорофилл «а» характеризуется двумя максимумами поглощения, расположенными в красной и синей областях спектра с длинами волн примерно 663–665 и 430 нм [15].

При обработке результатов измерений вычисляется концентрация хлорофилла по формуле [16]:

$$c'_{xa} = (11{,}85D_{664} - 1{,}54D_{647} - 0{,}08D_{630})\frac{V_э}{V_{пр} \cdot l}$$, где

$D_{664,647,630}$ - оптические плотности экстракта в белах на длинах волн 630 и 647 нм;

Vэ – объем экстракта, см^3

Vпр - объем пробы, дм^3

l - длина кюветы, см.

Все оптические плотности берутся с учетом поправки, которая равна оптической плотности на длине волны 750 нм. Данная поправка вычитается из значения измеренной оптической плотности [15].

3.2 Методы определения фитопланктона

Пробы были отобраны батометром, который имеет объем 1 литр, и фиксировались кислым раствором Люголя с дофиксацией 40% формалином.

Далее был изготовлен концентрат, который рассматривался в камере Нажотта в световом микроскопе с увеличением х400, х800.

Интегральные количественные пробы фитопланктона объемом 1 л отбирались с использованием батометра Богорова, который имеет объем 1,6 л. Отбор проводился от поверхности до дна через 0,5 м или 1,0 м, в зависимости от глубины исследуемой станции. Пробы фиксировались кислым раствором Люголя в модификации Усачева, и далее дофиксировались 40 % формалином. фиксированные пробы объемом 1,0 л концентрировались осадочным методом Усачева. Затем, пробы отстаивались в течение 10 - 14 суток, и далее фильтрат отсасывался сифоном через двойной слой газа с размером ячейки 40 мкм. В два этапа было проведено уплотнение пробы: от 1,0 до 0,1 – 0,3 л. Затем, было

проведено вторичное отстаивание пробы, после чего она сгущалась вновь до 10 миллилитров. То есть, все анализируемые пробы имеют объем 10 мл.

Для количественной оценки был использован световой микроскоп МИКМЕД-3 (ЛОМО). Для подсчета численности водорослей и цианобактерий использовалась камера Учинская -2 (0,01 мл). Обычно просчитывалось полностью не менее 2-3 камер, при просмотре обильных проб массовые формы учитывались в 10 полосах. Одновременно с просчетом клеток проводилось их измерение (не менее 30 клеток).

Число водорослей в единице объема воды (1 л) определяли по следующей формуле:

$$N = n*v*1000/w$$

где: N – число клеток в 1 л, n – число клеток в камере объемом 1 см^3,

v – объем концентрата в мл, w – объем профильтрованной воды в мл.

Для расчета биомассы использовали обычный счетно-объемный стереометрический метод. Биомасса вычислялась путем умножения численности каждого таксона на объемы клеток его особей и удельную массу водорослей, считая, что последняя равна 1. Для вычисления объемов клеток их формы приравнивали к таким геометрическим фигурам, как шар, эллипсоид, конус, два сопряженных конуса, цилиндр и др.. Далее с использованием формул их переводили из линейных размеров в объемные. Объемы клеток, имеющих сложную пространственную конфигурацию (например, род *Pediastrum*и др.), рассчитывали отдельно. Для каждого встреченного организма определялись размеры, путем измерения их клеток.

Для идентификации водорослей и цианобактерий использовали следующие работы: Определитель пресноводных водорослей СССР (Забелина и др., 1951; Голлербах и др., 1953; Киселев, 1954; Матвиенко, 1954; Попова, 1955; Дедусенко-Щеголева и др., 1959; Дедусенко-Щеголева и др., 1962, Паламарь-Мордвинцева, 1982; Мошкова, Голлербах, 1986), а также – Косинская, 1960; Царенко, 1990; Komárek, Fott, 1983; Krammer, Lange-Bertalot,

1986, 1988, 1991a, 1991b; Komárek, Anagnostidis, 1988, 1989, 1999, 2005; Komárek, 2013; Popovský, Pfiester, 1990.

3.3 Расчет индекса Шеннона

Расчет индекса Шеннона проводится по формуле:

$H' = -\sum p_i ln p_i$,

где $p_i = n_i/N$ – доля i-го вида в биотопе, ni – численность i-го вида (экз.), N – общая численность птиц, ln – натуральный логарифм.

Глава 4. Результаты

4.1 Гидрохимические особенности исследуемых озер

В исследованных озерах четко выраженные слои не формируются. В Лещевом озере, например, температура воды с глубиной снижается постепенно (Δt=4°C).

Во всех исследуемых озерах отмечена низкая прозрачность (от 0,5 до 2 м), что обусловлено большим поступлением органических веществ. Самая низкая прозрачность – 0,6 м выявлена в озере Германовское - в него поступают органические вещества с болот, которые находятся на водосборе.

Значения содержания углекислого газа на поверхности колебались от 5 до 45 мг/л. В озерах наблюдается высокое содержание углекислого газа на дне, так как там происходит накопление органических веществ. В озере Лещевое поступление органических веществ с полей, расположенных на водосборе озера компенсируется большой площадью зеркала и объемом воды, поэтому содержание углекислого газа на дне невысокое (примерно 7 мг/л). В озере Германовское значения содержания углекислоты были высокие (до 45 мг/л).

Значения прозрачности в Оссиевом озере изменяются в пределах от 0,9 м до 1,4 м. В поверхностных горизонтах величина цветности – 60 - 110 °Pt-Co, pH – 5,6 – 7,1, электропроводность – 48 - 58 мкСм/см. Относится к мезотрофным водоемам с чертами эфтрофии [3].

Значения процента насыщения воды кислородом в исследуемых водоемах варьировали от 78 до 94%. Самые низкие значения были отмечены в Германовском озере, где на дне возникают заморные явления. Наиболее благоприятный кислородный режим в озере Лещевое, где значения параметра составляли 65% на дне и 90% на поверхности, что можно объяснить хорошим ветровым перемешиванием вод.

Для исследованных озер характерен неблагоприятный кислородный режим. В озере Германовское был отмечен дефицит кислорода в придонных

горизонтах, что вызывает заморные явления. Во всех озерах насыщение кислородом не превышает 95% на поверхности.

В исследованных озерах значения pH находятся в диапазоне от 5 до 7. Антоньевское и Германовское озера имеют самые низкие значения из-за большого количества поступающих органических кислот. В этих озерах наибольшее содержание органических веществ. Диапазон содержания органических веществ в воде озер острова Валаам - 15-50 мгО/л.

Из-за особенностей происхождения острова, для малых озер о. Валаам также характерны высокие значения электропроводности на дне (от 19 до 180 МкСм/см) и содержания углекислого газа на дне (от 7 до 45 мг/л), который образуется при окислении органических веществ.

Высокие значения ПО, отмеченные в исследованных озера, связанны с высоким содержанием биогенных элементов в слагающей архипелаг породе и особенностями происхождения острова Валаам.

4.3 Анализ структурных показателей фитопланктона малых озер Валаамского архипелага

4.3.1 Флористический состав фитопланктона

В период проведения работ с июня по октябрь 2021 г. в исследованных озерах было обнаружено 58 таксонов фитопланктона рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам: *Cyanophyta* – 10, *Dinophyta* -1, *Euglenophyta* - 4, *Raphidophyta* -1, *Cryptophyta* - 3, *Chrysophyta* - 3, *Bacillariophyta* - 14, *Chlorophyta* – 20 (таблица 1).

Основу фитопланктона составляли широко распространенные пресноводные эврибионтные формы водорослей. К числу повсеместно встречающихся видов (в более чем 50% проб) можно было отнести - рафидофитовые (1), диатомовые (3), золотистые (2) водоросли (таблица 1). В данной таблице отмечены все определенные в ходе исследования виды и их встречаемость в каждом озере.

Таблица 1 — Флористический состав фитопланктона в озерах о. Валаам

Таксон	Лещевое	Оссиево	Антониевское	Германовское
Cyanophyta				
Merismopedia tenuissima		+	+	
Snowella lacustris	+		+	+
Dolichospermum spiroides	+	+	+	+
Anabaena sp.		+	+	
Monoraphidium contortum	+	+	+	
Dolichospermum planctonicum	+	+		+
Aphanizomenon flos-aquae	+	+		
Microcystis aeruginosa	+			
Synechocystis crassa	+			
Planktothrix agardhii	+			
Dinophyta				
Ceratium hirundinella	+		+	
Cryptophyta				

Таксон	Лещевое	Оссиево	Антониевское	Германовское
Cryptomonas erosa	+		+	
Cryptomonas spp.		+	+	
Cryptomonas rostrata		+		+
Raphidophyta				
Gonyostonum semen	+	+	+	+
Bacillariophyta				
Aulacoseira islandica	+		+	
Tabellaria flocculosa	+	+	+	+
Gymnodinium sp2	+	+	+	+
Aulacoseira italica	+		+	
Gomphonema acuminatum			+	
Navicula radiosa	+	+	+	+
Aulacoseira distans		+		
Cyclotella spp.	+	+		

Таксон	Лещевое	Оссиево	Антониевское	Германовское
Pinnularia mesolepta		+		
Pinnularia sp.	+			+
Asterionella formosa	+			
Nitzschia holsatica	+			
Chlorolobion sp.				+
Chrysophyta				
Mallomonas spp.			+	
Chrysococcus tryporus	+		+	
Dinobryon bavaricum	+	+		
Dinobryon divergens	+	+		
Synura sp		+		
Chlorophyta				
Botryococcus braunii	+	+	+	+
Cosmarium bioculatum	+		+	
Crucigenia tetrapedia	+	+	+	
Raphidocelis contorta		+	+	

Таксон	Лещевое	Оссиево	Антониевское	Германовское
Dictyosphaerium pulchellum	+	+	+	+
Staurodesmus cuspidatum	+		+	
Chlorococcum sp.	+		+	+
Coenococcus planctonicus			+	
Cosmarium sp.	+		+	
Scenedesmus ellipticus	+		+	
Mougeotia spp.			+	
Tetrastrum komarekii	+	+		
Oocystis lacustris	+			
Pediastrum boryanum	+			
Peridinium sp.	+			+
Monoraphidium arcuatum	+			
Peridinium bipes	+			
Pediastrum duplex	+			

Таксон	Лещевое	Оссиево	Антониевское	Германовское
Tetraedron minimum	+			
Ulothrix spp.	+			+
Euglenophyta				
Trachelomonas volvocina	+		+	
Lepocinclus sp.			+	
Phacus pleuronectes			+	
Trachelomonas superba	+			

В целом, в данном исследовании определено 58 видов водорослей, встречающихся в малых озерах острова Валаам.

4.3.2 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Оссиево за вегетационный период 2021 года

Анализ проводился во все месяцы вегетационного периода, который начинается в июне. Биомасса озера Оссиева в июне 2021 года составила 4,87 г/м^3.

Биомасса озера формируется 4 отделами водорослей, причем, Рафидофитовые и Криптофитовые определяют 92% видового состава. Это наглядно видно на Рисунке 2.

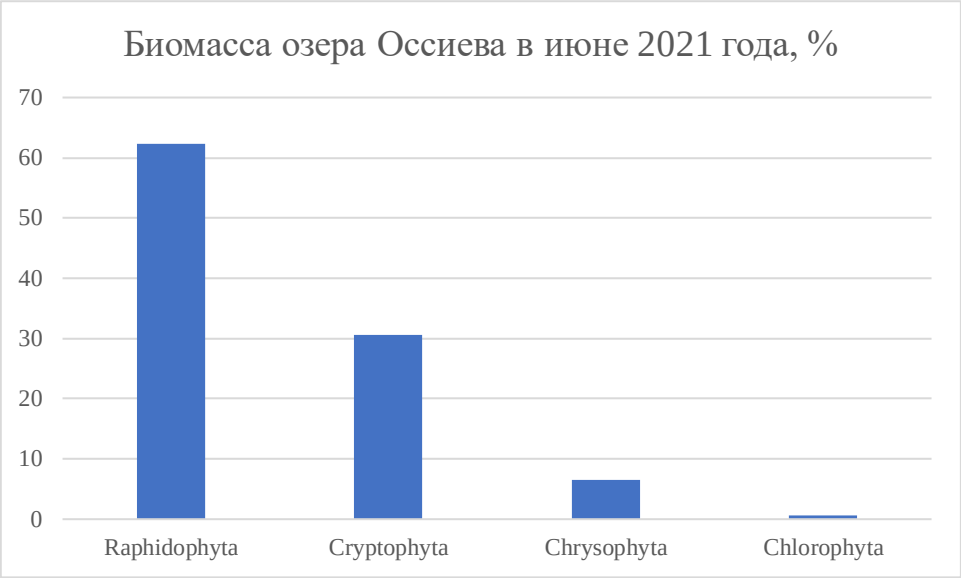

Рисунок 2 – Биомасса озера Оссиева в июне 2021 г., %

Наименьший вклад в биомассу озера вносят зеленые водоросли – меньше 1%. Однако, количественно их вклад составляет 34% всех клеток.

В июле в Оссиевом озере при максимальном прогреве воды, наблюдается большее разнообразие. Биомасса также возросла и составила 6,38 г/м^3. В большом количестве отмечены водоросли вида *Cryptomonas spp.* – 624,5 тыс кл/л. Вместе с тем, можно отметить, что за счет увеличения биоразнообразия, уменьшилось количество клеток. В июне количество клеток данного вида на л составляло 840 тыс.

В июле 2021 года биоразнообразие преимущественно обуславливалось видами отдела Рафидофитовых водорослей. В процентном соотношении это 80% всей биомассы водорослей. Наименьший вклад внесли зеленые водоросли, их вклад меньше 1% от общей биомассы. По численности, наоборот, наибольшее количество клеток в пробе относится к Рафидофитовым водорослям.

Все представленные отделы вносят вклад в биомассу меньше 10%, кроме Рафидофитовых. Их вклад в биомассу фитопланктона Оссиева озера больше 80%, однако по количеству клеток в общей доле, они занимают 34%.

Наибольшее биоразнообразие отмечено в пробе, отобранной в Оссиевом озере в октябре 2021 года. Несмотря на меньшую биомассу фитопланктона, в данный период увеличивается количество видов. Биомасса фитопланктона в октябре 2021 наименьшая. Температура воды и интенсивность солнечного света в этот период уже гораздо ниже, водоросли замедляют свой рост и развитие, и происходит процесс их разложения. Однако, отмечено большее количество видов. Наибольшее количество клеток отмечено вида *Synura sp*. В процентном соотношении количество этих клеток составляет 68%.

В октябре наблюдается более равномерное распределение вклада в биомассу водорослей различных отделов. Так, наибольший вклад вносят Динофитовые водоросли, а наименьший зеленые водоросли.

Вклад в биомассу озера Рафидофитовых, Золотистых и Диатомовых водорослей примерно одинаковый. Наименьшие значения наблюдаются по видам Зеленых, Сине-зеленых и Криптофитовых водорослей.

На Рисунке 3 приведена численность фитопланктона в озере Оссиевом в 2021 году.

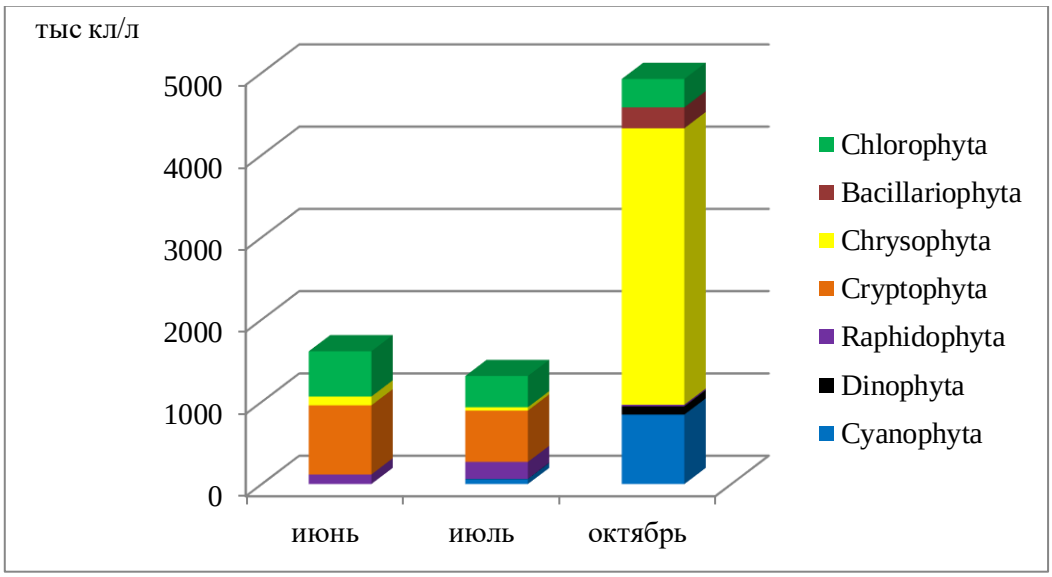

Рисунок 3 – Численность фитопланктона в озере Оссиевом, 2021 г

В июле показатели обилия фитопланктона были минимальными; численность фитопланктона изменялась от 1,3 до 4,92 млн. кл/л (среднее значение было 2,6 млн. кл/л). По показателям обилия в июне и июле доминировали криптофитовые водоросли, в октябре – золотистые, на их долю

приходилось 68% по общей численности. Также в состав доминат по численности входили и желто-зеленые водоросли (17 %). Доминирующим видом являлся *Cryptomonas spp*.

Доминатными по вкладу в биомассу фитопланктона в июне и июле являются Рафидофитовые водоросли, однако, в октябре их вытесняют виды отдела Динофитовые (Рисунок 4).

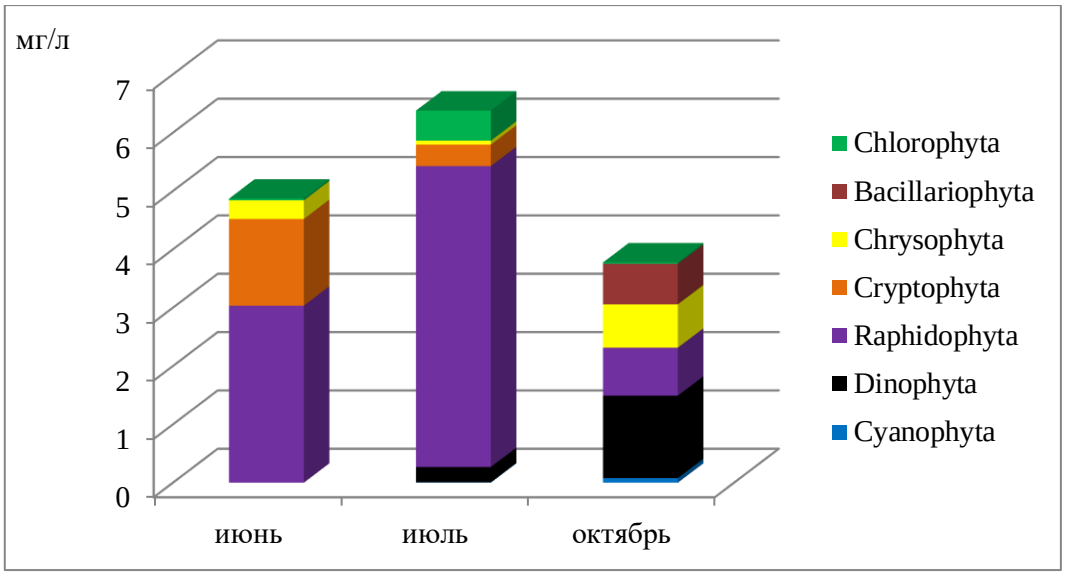

Рисунок 4 – Биомасса фитоплактона в оз. Оссиево, 2021 г

За период исследования биомасса изменялась от 3,77 мг/л до 6,39 мг/л (среднее значение 5 мг/л). По показателям обилия в июне и июле по биомассе доминируют рафидофитовые водоросли, в октябре – динофитовые.

На Рисунке 5 приведена динамика биомассы фитопланктона озера Оссиево за весь период исследования.

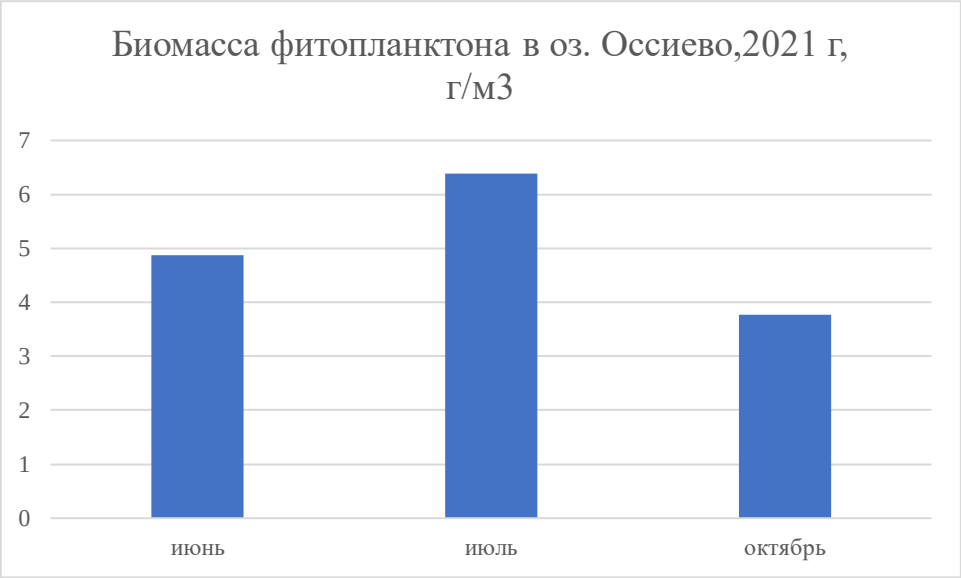

Рисунок 5 - Динамика биомассы фитопланктона озера Оссиево за весь период исследования

На рисунке 5 четко отслеживается период самого активного фотосинтеза, когда идет максимальный рост и развитие фитопланктона. В июне, за счет медленного прогрева воды и недостатка солнечного света эти процессы только начинаются, а в октябре идет отмирание и разложение фитопланктона.

Средняя биомасса фитопланктона озера Оссиева в 2021 году составила 5 г/м^3. В Таблице 2 приведена классификация типов озер по биомассе. (Китаев,1984)

Таблица 2. Классификация типов озер по биомассе фитопланктона (Китаев,1984)

тип озера	биомасса, г/м^3
олиготрофное	0,5-1
мезотрофное	1-4
эвтрофное	5-16
гипертрофное	>16

По данной классификации озеро Оссиево относится к эвтрофному типу, попадая в нижнее значение диапазона.

4.3.3 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Антоньевское за вегетационный период 2021 года

В Антоньевском озере пробы отбирались 4 раза за сезон – в июне, июле, августе и октябре.

Биомасса фитопланктона в июне 2021 года составила 5,7 г/м3. Больше 90% вклада в биомассу вносят клетки видов *Gonyostonum semen* и *Raphidocelis contorta.*

В июне 2021 года наибольший вклад в биомассу фитопланктона озера внесли Рафидофитовые и зеленые водоросли. В процентном соотношении по количеству клеток максимальные значения наблюдаются по зеленым водорослям. Больше 42% клеток составляют организмы отдела Сине-зеленые водоросли, однако, за счет небольшого размера клеток, их вклад в общую биомассу меньше 1%.

Распределение вклада в биомассу фитопланктона Антоньевского озера в 2021 году, представлено графически на Рисунке 6.

Рисунок 6 – Биомасса фитопланктона оз. Антоньевского в июне 2021 г., %

По Рисунку 6 четко выделяются 2 доминантных отдела водорослей. Считается, что если в озере биомасса преимущественно составляется сине-зелеными водорослями, то озеро находится под антропогенным воздействием. В данной пробе основным субдоминатом является отдел Рафидофитовые.

В июле 2021 года в данном озере сильно увеличилась биомасса фитопланктона, так как озеро максимально прогрелось, также в этот период наибольшее количество солнечного света.

Биомасса фитопланктона в июле 2021 года в Антоньевском озере значительно возросла и составила 11,01 г/м3. Доминантными видами по вкладу в биомассу озера являются *Gonyostonum semen* (42,92%) и *Raphidocelis contorta* (45,64%). Доминантными видами по количеству клеток являются виды *Crucigenia tetrapedia* и *Raphidocelis contorta*.

Биомассу фитопланктона в Антоньевском озере в июле 2021 года преимущественно составляют виды отделов Рафидофитовые и Зеленые водоросли. По количеству клеток максимальную долю вносят Зеленые водоросли.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 7.

Рисунок 7 - Биомасса фитопланктона оз. Антоньевского в июле 2021 г., %

Данная проба была отобрана в конце июля, когда начинается пик цветения Рафидофитовых и Зеленых водорослей, что мы и наблюдаем на Рисунке 7. В целом, за счет большого количества видов этих отделов и формируется биологическое разнообразие.

В августовской пробе отмечено еще большее разнообразие видов. Биомасса по сравнению с июльскими данными уменьшилась до 6,125 г/м^3. Видовой состав водорослей стал богаче. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера является вид *Gonyostonum semen* – 79,4%, который в больших количествах наблюдается во всем периоде исследования Антоньевского озера. По количеству клеток доминантным видом является вид *Anabaena sp.*, так как в пробе было несколько крупных колоний клеток этого вида.

Доминантными видами по вкладу в биомассу в августе 2021 года были водоросли отдела Рафидофитовые – 79,5%. По количеству клеток доминатными являются водоросли отдела зеленые водоросли – 42,47% и Синезеленые водоросли – 47,6%.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 8.

Рисунок 8 - Биомасса фитопланктона оз. Антоньевского в августе 2021 г., %

Рафидофитовые водоросли доминантные в данном месяце, в августе 2021 года продолжался пик их цветения.

В октябре температура воды продолжала снижаться, уменьшалось количество солнечного света. Биомасса фитопланктона составила 0,494 г/м^3. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера остается вид *Gonyostonum*

semen. По количеству клеток доминантным видом является *Crusigenia tetrapedia*. Также снижается количество видов, за счет их отмирания при изменении сезонных факторов – количество солнечного света, температура воды, количество биогенов в озере.

Рафидофитовые водоросли по-прежнему являются доминантными по вкладу в биомассу фитопланктона озера Антоньевское – 64%. Также большой вклад вносят водоросли отдела Зеленые. По количеству клеток в пробе преимущественно виды отдела Зеленые водоросли – 67,47%, а также виды отдела Сине-зеленые водоросли – 24,65%.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 9.

Рисунок 9 - Вклад в биомассу различных отделов водорослей в октябре 2021 г в оз. Антоньевское, %

По Рисунку 14 можно отметить, что по сравнению с предыдущем месяцем, где 80% всей биомассы составляли Рафидофитовые водоросли, здесь наблюдается более разнообразное распределение. На Рисунке 10 приведена численность фитопланктона в озере Антоньевское в 2021 году.

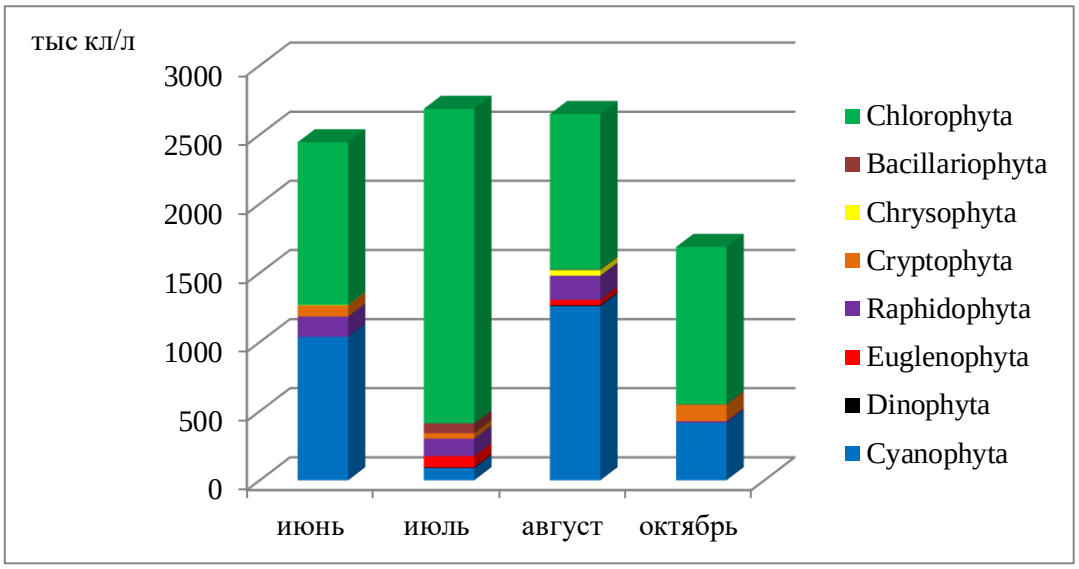

Рисунок 10 – Численность фитопланктона в озере Антоньевское, тыс кл/л

Численность фитопланктона изменялась от 1,7 до 2,7 млн. кл/л (среднее значение было 2,4 млн. кл/л). По показателям обилия доминировали зеленые водоросли, на их долю приходилось от 42% в августе до 85% в июле.

На Рисунке 11 представлена биомасса фитопланктона в озере Антоньевское в 2021 году.

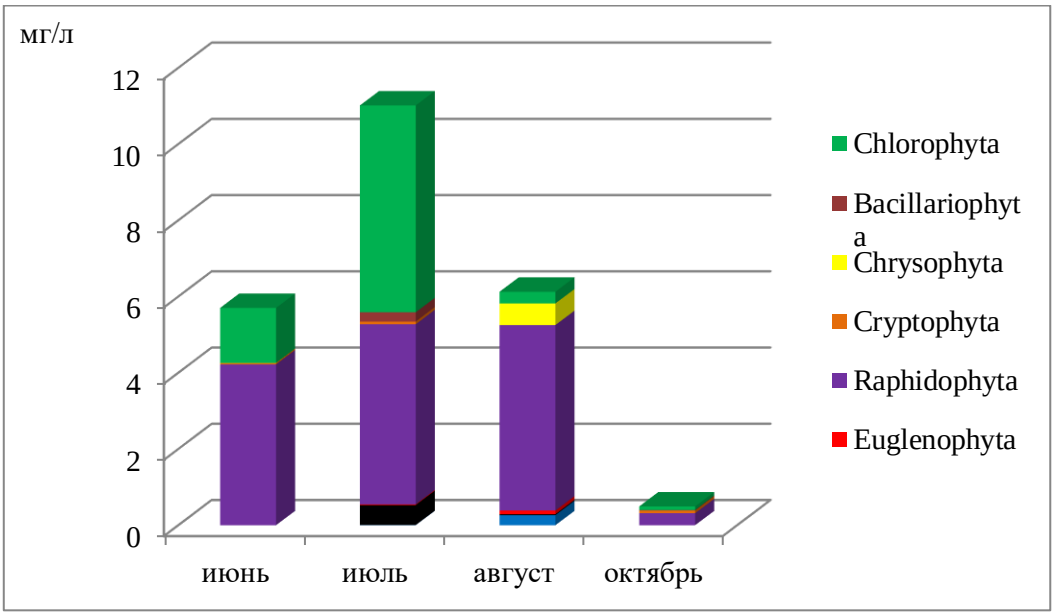

Рисунок 11 – Биомасса фитопланктона в 2021 году, мг/л

По Рисунку 11 четко отслеживается, что максимум развития фитопланктона приходится на июль, а минимум – на октябрь. Среднее значение биомассы фитопланктона в озере Антоньевское в 2021 году составило 5,83 г/м^3. По показателям обилия доминируют рафидофитовые водоросли, в июле доминирующими также являются зеленые.

По классификации типов озер Китаева (1984) озеро Антоньевское по биомассе относится к эвтрофному типу, также как и Оссиево, попадая в нижнее значение диапазона.

4.3.4 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Лещевое за вегетационный период 2021 года

Пробы в Лещевом озере отбирались 4 раза – в июне, июле, августе и октябре.

Биомасса фитопланктона в июне 2021 года составила 1, 022 г/м^3. Наблюдается высокое богатство видов. Вклад в биомассу распределен относительно равномерно, явных доминантных видов нет. Наибольший вклад вносят виды *Dinobryon bavaricum , Trachelomonas volvocina , Cyclotella spp.*

В июне 2021 года наибольший вклад в биомассу фитопланктона озера внесли Золотистые и диатомовые водоросли. В процентном соотношении по количеству клеток максимальные значения наблюдаются по зеленым водорослям. Наименьший вклад в биомассу фитопланктона озера вносят виды отделов Динофитовые и Эвгленовые.

Распределение вклада в биомассу фитопланктона Лещевого озера в 2021 году, представлено графически на Рисунке 12.

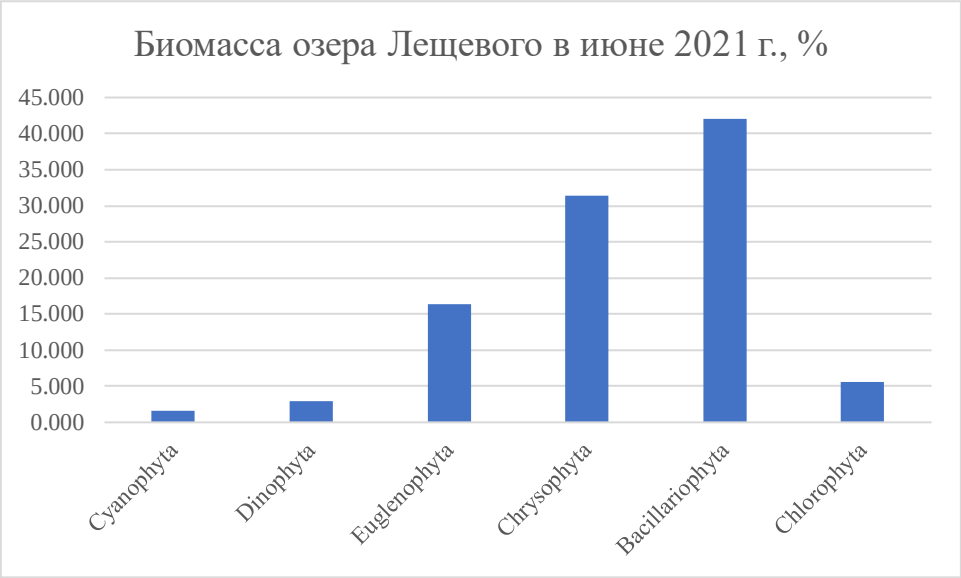

Рисунок 12 – Биомасса фитопланктона оз. Лещевого в июне 2021 г., %

По Рисунку 12 четко выделяются 3 отдела водорослей, на которые приходится наибольший вклад в биомассу озера - Золотистые, Эвгленовые и Диатомовые.

В июле 2021 года в озере Лещевое заметно увеличилась биомасса фитопланктона, увеличился видовой состав, так как озеро максимально прогрелось, также в этот период наибольшее количество солнечного света.

Биомасса фитопланктона в июле 2021 года в Лещевом озере значительно возросла и составила 12,049 г/м^3. Доминантными видами по вкладу в биомассу озера являются *Aulacoseira islandica* (66,1%) и *Gonyostonum semen* (15,33%). Доминантными видами по количеству клеток являются виды *Aulacoseira islandica* и *Snowella lacustris.*

Биомассу фитопланктона в Лещевом озере в июле 2021 года преимущественно составляют виды отделов Диатомовые и Рафидофитовые водоросли. По количеству клеток максимальную долю вносят Диатомовые и Зеленые водоросли.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу озера Лещевого в июле 2021 года в графическом виде приведено на Рисунке 13.

Рисунок 13 - Биомасса фитопланктона оз. Лещевого в июле 2021 г., %

Данная проба была отобрана в конце июля, на данном рисунке можно отметить, что в этот период происходит пик цветения Диатомовых водорослей. 20% вклада в биомассу озера вносят виды отделов Динофитовые и Рафидофитовые. В целом, за счет большого количества видов этих отделов и формируется биологическое разнообразие.

В августовской пробе отмечено еще большее разнообразие видов. Биомасса по сравнению с июльскими данными уменьшилась до 4,656 г/м^3. Видовой состав водорослей стал богаче. Такая же ситуация наблюдалась в Антоньевском озере. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера является вид *Gonyostonum semen* – 28,25%,. По количеству клеток доминантным видом является вид *Aphanizomenon flos-aquae.*, так как в пробе было несколько крупных колоний клеток этого вида.

Доминантными видами по вкладу в биомассу в августе 2021 года были зеленые водоросли– 36,2%. По количеству клеток доминатными являются Сине-зеленые водоросли – 53,2%.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 14.

Рисунок 14 - Биомасса фитопланктона оз. Лещевого в августе 2021 г., %

Зеленые водоросли доминировали в данном месяце, также в августе 2021 года продолжался пик цветения Рафидофитовых водорослей.

В октябре температура воды продолжала снижаться, уменьшалось количество солнечного света.

В октябре 2021 года в озере Лещевом биомасса фитопланктона составила 2,927 г/м^3. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера является вид *Aulacoseira islandica*, а также остается вид *Gonyostonum semen*. По количеству клеток доминантным видом является также вид *Aulacoseira islandica*. Также снижается количество видов, за счет их отмирания при изменении сезонных факторов – количество солнечного света, температура воды, количество биогенов в озере.

Диатомовые водоросли являются доминантными по вкладу в биомассу фитопланктона озера Лещевое – 53,8%. Также большой вклад вносят водоросли отдела Зеленые. По количеству клеток в пробе преимущественно виды отдела Зеленые водоросли – 26,6%.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 15.

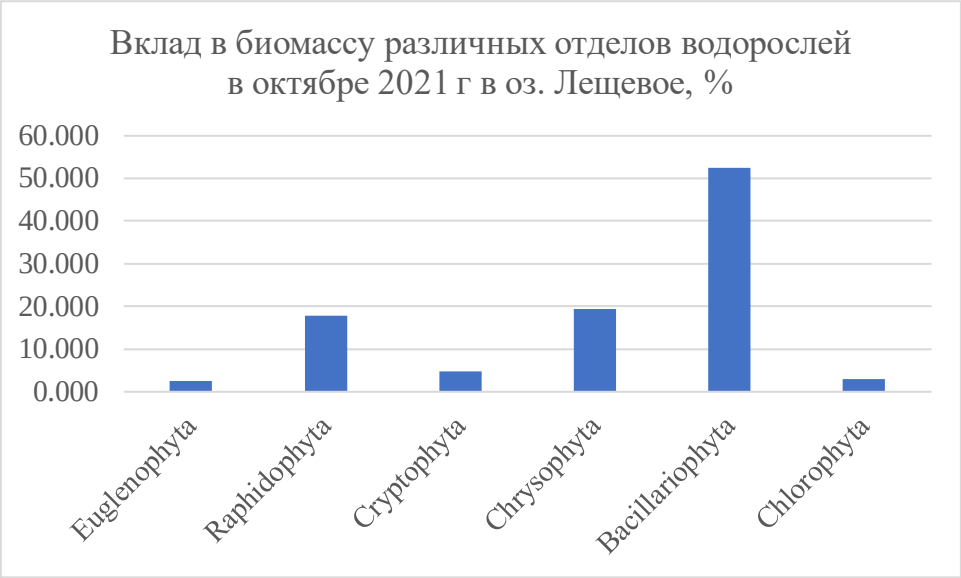

Рисунок 15 - Вклад в биомассу различных отделов водорослей в октябре 2021 г в оз. Лещевое, %

В целом, Лещевое озеро очень богато на разнообразные виды, но во всем периоде исследования преимущественно биомассу составляют Диатомовые водоросли.

На Рисунке 16 приведена динамика биомассы фитопланктона озера Лещевое за весь период исследования.

Рисунок 16 - Динамика биомассы фитопланктона озера Лещевое за весь период исследования, г/м^3

По Рисунку 16 четко отслеживается, то, что пик развития фитопланктона приходится на июль, а минимум – на июнь. Озеро глубокое, вероятнее всего, это связано с недостаточным прогревом воды в начале сезона. Среднее значение биомассы фитопланктона в озере Лещевое в 2021 году составило 5,15 г/м^3.

На Рисунке 17 приведена численность биомассы фитопланктона за весь период исследования.

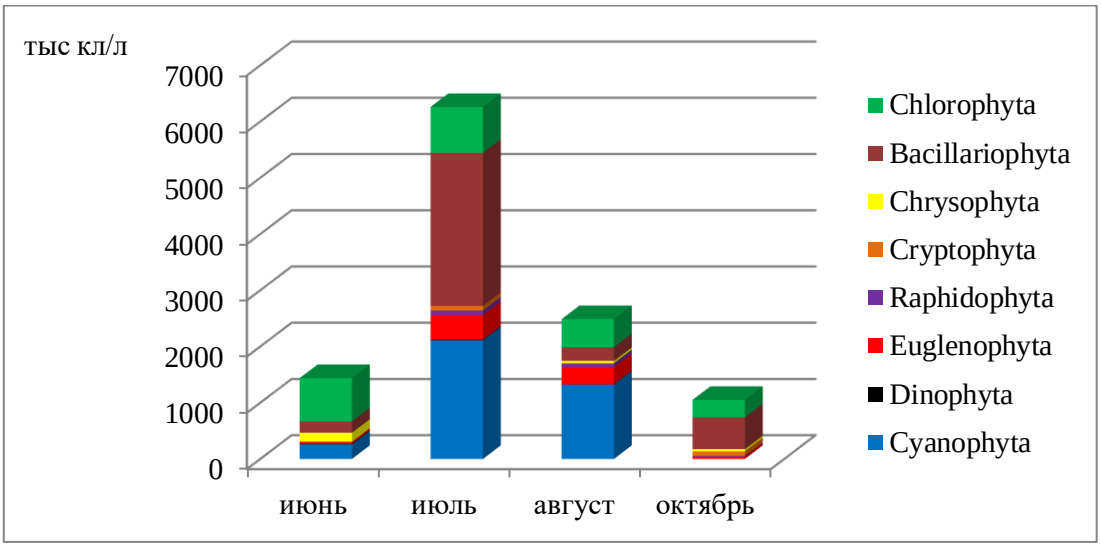

Рисунок 17 – Численность биомассы фитопланктона озера Лещевое в 2021 году, тыс кл/л

Численность фитопланктона изменялась от 1,05 до 6,25 млн. кл/л (среднее значение было 2,8 млн. кл/л). По показателям обилия в июне доминировали зеленые водоросли, в июле – диатомовые, в августе – сине-зеленые, в октябре – диатомовые.

На Рисунке 18 приведена биомасса фитопланктона озера Лещевого в 2021 году.

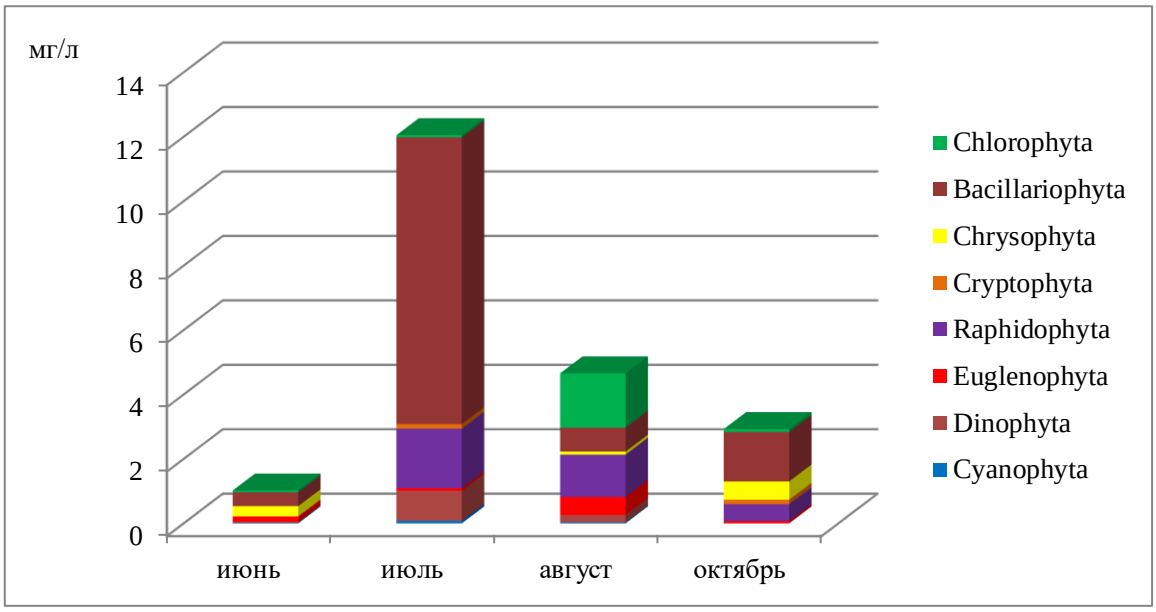

Рисунок 18 – Биомасса фитопланктона озера Лещевое в 2021 году, мг/л

Биомасса фитопланктона изменялась – от 1,02 до 12,04 мг/л (среднее значение – 5,16 мг/л). По показателям обилия в июле – месяце с максимальной биомассой фитопланктона - доминировали диатомовые водоросли, на их долю приходилось 73% от общей биомассы. Наряду с диатомеями, в состав доминат по численности входили и рафидофитовые водоросли. Комплекс доминирующих видов включал виды *Aulacoseira islandica, Ceratium hirundinella, Tabellaria flocculosa.*

По классификации типов озер Китаева (1984) озеро Лещевое относится к эвтрофному типу, также как и Оссиево, и Антоньевское, попадая в нижнее значение диапазона.

4.3.5 Динамика структурных показателей фитопланктона озера Германовское за вегетационный период 2021 года

Пробы в Германовском озере также отбирались 4 раза – в июне, июле, августе и октябре.

Биомасса фитопланктона в июне 2021 года составила 0,967 г/м^3. По сравнению с другими озерами, наблюдается невысокое биоразнообразие. Доминантный вид по вкладу в биомассу озера - *Coelastrum microporum*. Также большой вклад вносят виды *Cryptomonas rostrata и Gonyostonum semen*.

В июне 2021 года наибольший вклад в биомассу фитопланктона озера внесли Зеленые и Криптофитовые водоросли. В процентном соотношении по количеству клеток максимальные значения наблюдаются по зеленым водорослям – 97,1%. По численности наибольший вклад (97%) вносят зеленые водоросли.

Распределение вклада в биомассу фитопланктона Германовского озера в 2021 году, представлено графически на Рисунке 19.

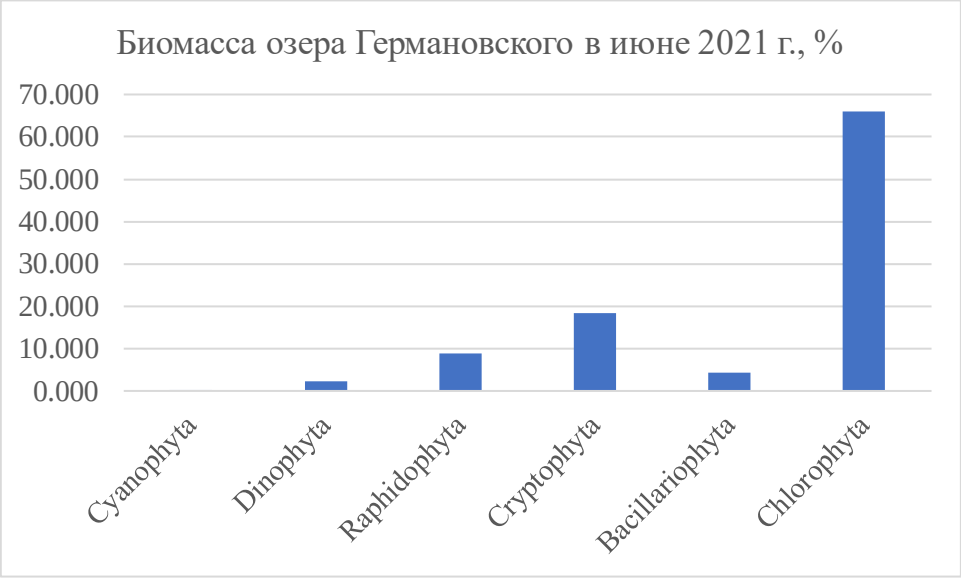

Рисунок 19 – Биомасса фитопланктона оз. Германовского в июне 2021 г., %

По Рисунку 19 можно четко выделить, что доминантным отделом являются Зеленые водоросли.

В июле 2021 года в озере Германовское биомасса осталась практически на том же уровне, видовое богатство уменьшилось.

Биомасса фитопланктона в июле 2021 года в Германовском озере практически не изменилась и составила 0,149 г/м^3. Доминантными видами по вкладу в биомассу озера являются *Chlorolobion sp.* и *Dictyosphaerium ehrenbergianum.* Доминантными видами по количеству клеток являются те же виды водорослей.

Биомассу фитопланктона в Германовском озере в июле 2021 года преимущественно составляют Зеленые водоросли – 86,1%. По количеству клеток максимальную долю вносят также Зеленые водоросли.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу озера Германовского в июле 2021 года в графическом виде приведено на Рисунке 20.

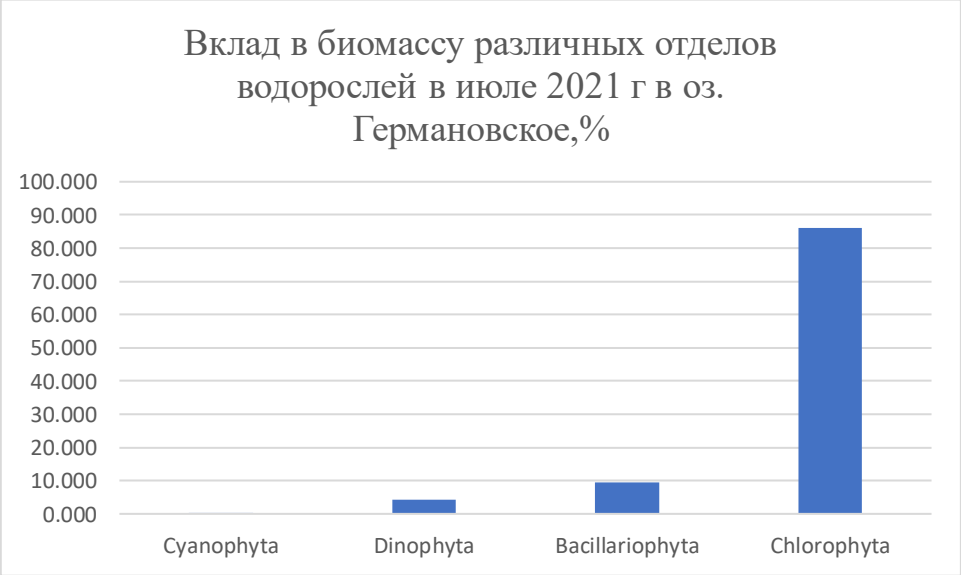

Рисунок 20 - Биомасса фитопланктона оз. Германовского в июле 2021 г., %

Данная проба была отобрана в конце июля, на данном рисунке можно отметить, что в этот период в Германовском озере происходит пик цветения Зеленых водорослей. Небогатое видовое разнообразие и большое количество

представителей отдела зеленые водоросли – отличительная черта Германовского озера.

В августовской пробе биоразнообразие видов почти не изменяется.

Биомасса, по сравнению с июльскими данными, уменьшилась до 0,03 г/м^3. Видовой состав водорослей практически не изменился. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера является вид *Chlorococcum sp.*,. По количеству клеток доминантным видом является вид *Coelastrum microporum* и *Oocystis lacustris*.

Доминантными видами по вкладу в биомассу в августе 2021 года были зеленые водоросли– 36,2%. По количеству клеток доминатными являются также зеленые водоросли.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 21.

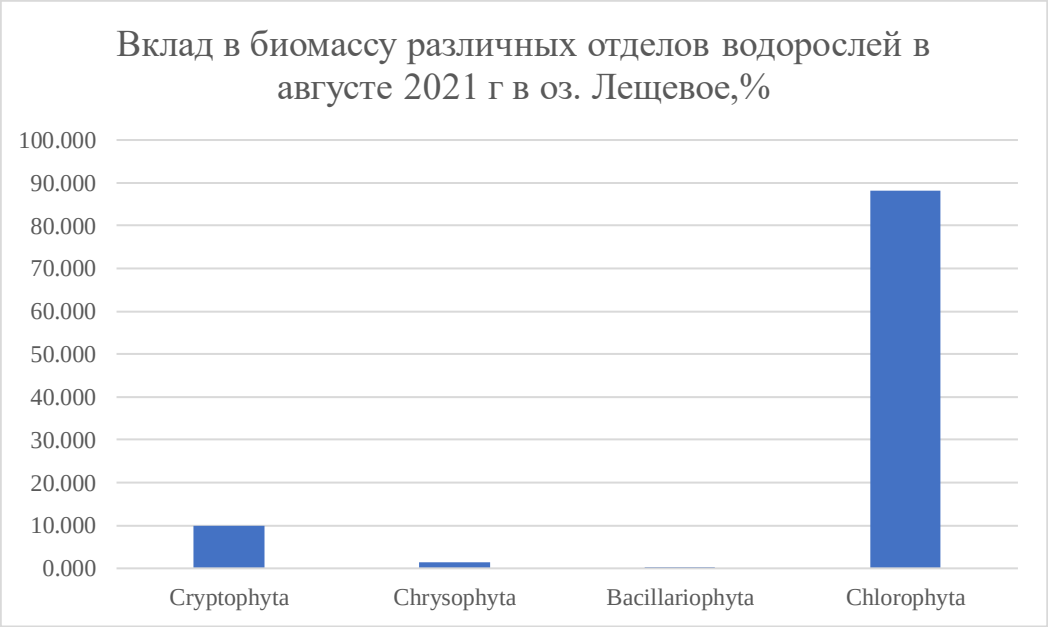

Рисунок 21 - Биомасса фитопланктона оз. Германовское в августе 2021 г., %

Зеленые водоросли доминантные в данном месяце, также как и в предыдущих.

В октябре температура воды продолжала снижаться, уменьшалось количество солнечного света.

В октябре 2021 года в озере Германовском биомасса фитопланктона составила 5,068 г/м^3. Это самое большое значение биомассы фитопланктона за весь период исследования. Доминантным видом по вкладу в биомассу озера является вид *Chroomonas acuta*, его вклад составляет 97% от всей биомассы озера. По количеству клеток доминантным видом является также вид *Chroomonas acuta*.

Криптофитовые водоросли являются доминантными по вкладу в биомассу фитопланктона озера Германовское – 97,92%. Также этот вид доминантный по количеству клеток организмов.

Распределение вклада организмов разных отделов по вкладу в биомассу в графическом виде приведено на Рисунке 22.

Рисунок 22 - Вклад в биомассу различных отделов водорослей в октябре 2021 г в оз. Германовское, %

В целом, во всем периоде исследования преимущественно биомассу Германовского озера составляют зеленые и криптофитовые водоросли.

На Рисунке 26 приведена динамика биомассы фитопланктона озера Германовское за весь период исследования.

Рисунок 23 - Динамика биомассы фитопланктона озера Германовское за весь период исследования, г/м^3

По Рисунку 23 четко отслеживается осенний пик цветения зеленых водорослей, которые преобладают в видовом составе озера. Среднее значение биомассы фитопланктона в озере Лещевое в 2021 году составило 1,78 г/м^3. Численность фитопланктона в озере Германовское приведена на Рисунке 24.

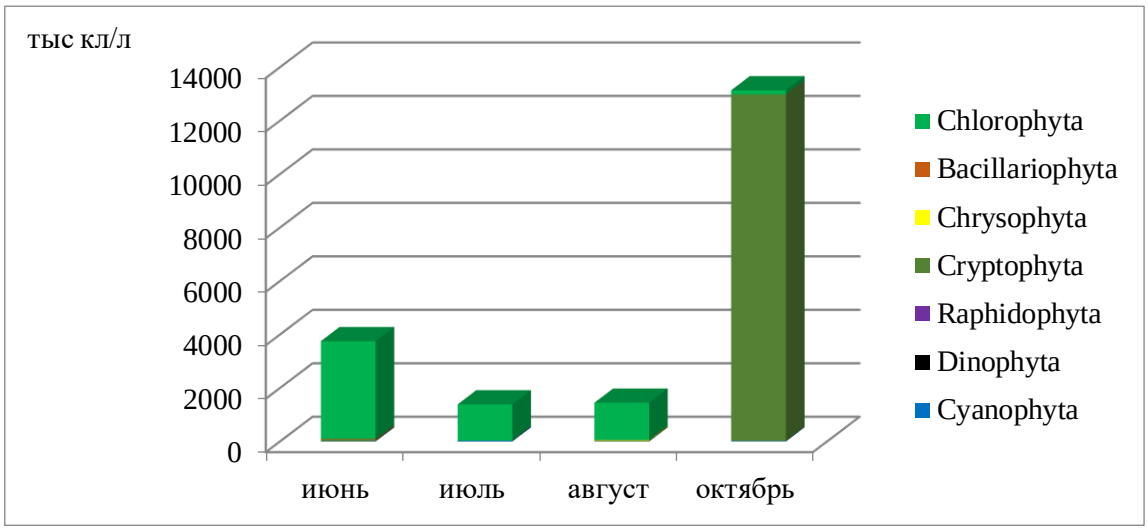

Рисунок 24 – Численность фитопланктона озера Германовское в 2021 году, тыс кл/л

В Германовском озере четко видны доминантные виды по численности – и июне, июле и августе это зеленые водоросли, в октябре – криптофитовые. Численность фитопланктона варьировала от 1,3 млн кл/л до 13,1 млн кл/л. Среднее значение – 4,93 млн кл/л.

Биомасса фитопланктона в озере Германовское приведена на Рисунке 25.

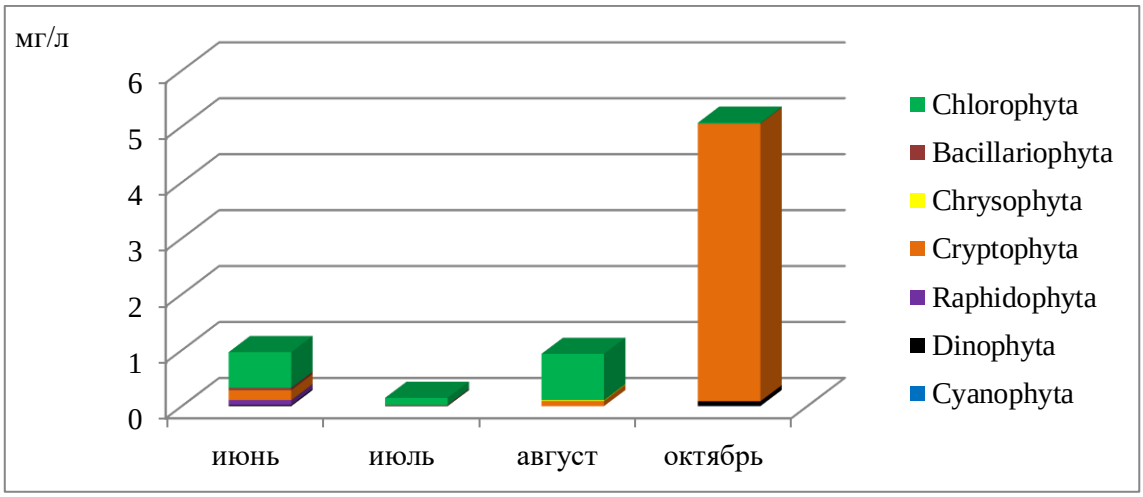

Рисунок 25 – Биомасса фитопланктона в озере Германовское в 2021 году,мг/л

Биомасса фитопланктона изменялась от 0,14 до 5,06 мг/л (среднее значение – 1,77 мг/л). По показателям обилия в июне, июле и августе доминировали зеленые водоросли, в октябре – криптофитовые.

4.3.6 Сравнение структурных показателей фитопланктона в исследуемых озерах

По классификации типов озер Китаева (1984) озеро Германовское относится к мезотрофному типу. Так как другие озера относятся к эвтрофному типу, представим эти значения в графическом виде. (см. Рисунок 26)

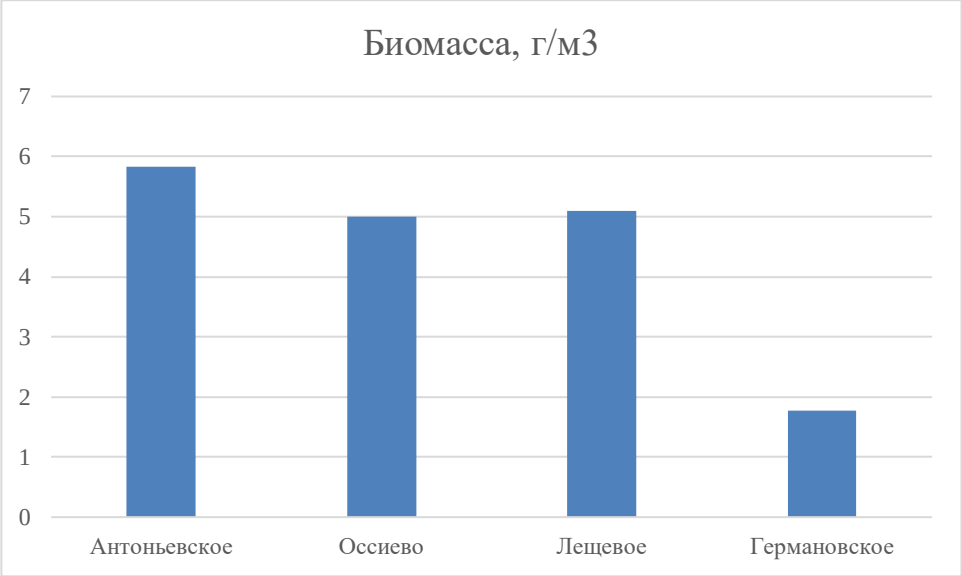

Рисунок 26 – Сравнение среднего значения биомассы фитопланктона исследованных озер, г/м3

Средние значения биомассы всех озер, кроме Германовского практически равны. Если рассматривать вклад в биомассу фитопланктона различных видов водорослей, можно увидеть, как различаются условия в каждом озере. (см. Рисунок 27)

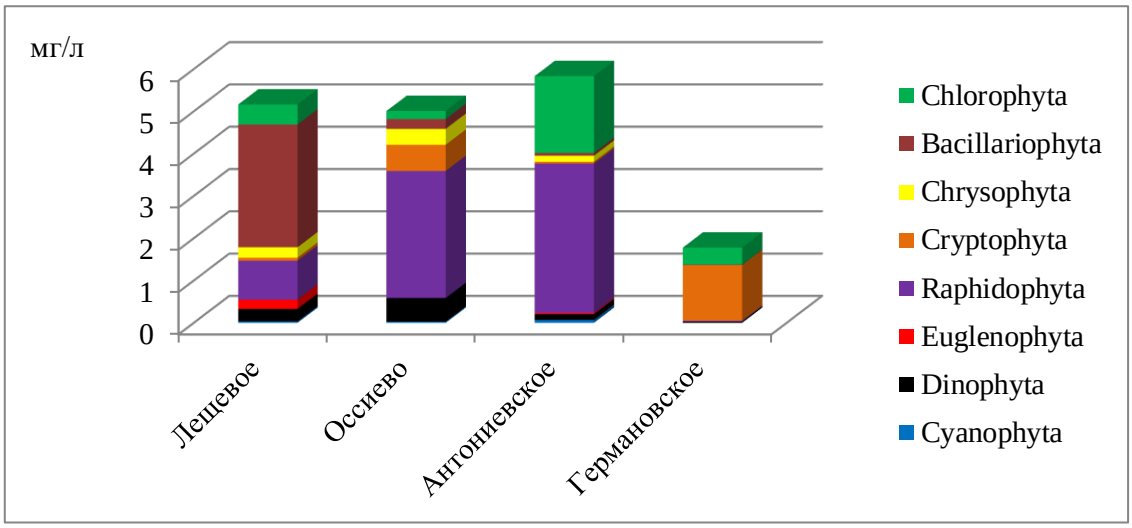

Рисунок 27 – средние значения биомассы фитопланктона по отделам водорослей в исследуемых озерах, 2021 год, мг/л

В Лещевом озере доминантными являются диатомовые водоросли, также в состав доминант входят рафидофитовые. В Оссиевом и Антониевском озере также доминантом являются рафидофитовые водоросли. В Антониевском в состав доминат входят также зеленые водоросли. В Германовском обилие фитопланктона составляют криптофитовые и зеленые водоросли.

На Рисунке 28 приведены средние значения численности фитопланктона во всех исследуемых озерах в 2021 году.

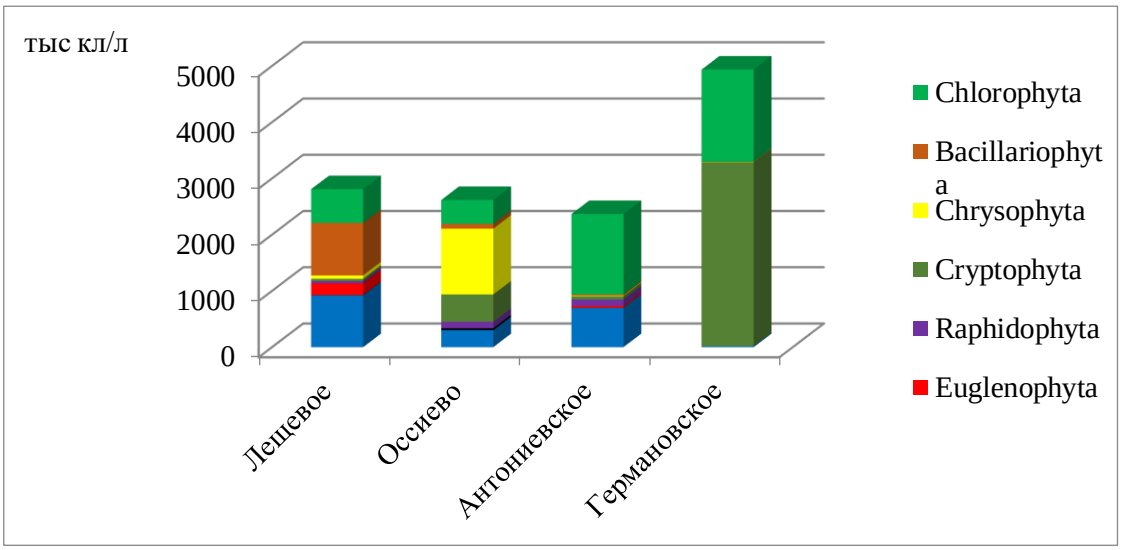

Рисунок 28 – Средние значения численности фитопланктона в исследуемых озерах в 2021 году, тыс кл/л

Видовой состав, по показателям численности фитопланктона очень отличается от озера к озеру. Так, например, в Лещевом озере по показателям обилия доминируют диатомовые и рафидофитовые водоросли, в Оссиевом – золотистые, в Антоньевском – зеленые и в Германовском – зеленые и криптофитовые.

4.3.7 Индекс Шеннона

Индекс Шеннона характеризует разнообразие и выравненность в структуре сообщества. Результаты – средние значения индекса по каждому озеру, приведены в Таблице 3.

Таблица 3. Средние значения индекса Шеннона по численности и биомассе фитопланктона в исследуемых озерах

	Антоньевское	Оссиево	Германовское	Лещевое
H бит/экз	-2,41	-2,04	-1,25	-2,83
H бит/мг	-1,435	-1,51	-1,4	-2,42

В Антоньевском и Оссиевом озерах индекс разнообразия по количеству клеток существенно превышает значение, рассчитанное по биомассе. Наименьшие значения индекса разнообразия и по количеству клеток, и По

Таблице 3 можно сказать, что наибольшее разнообразие по численности видов и биомассе наблюдается в Лещевом озере (H=2,42 бит/мг), наименьшее - в Германовском (H=1,4 бит/мг). Данный индекс может изменяться в диапазоне от 0 до 5, что говорит о том, что в исследуемых озерах в целом наблюдается средняя сложность структуры сообщества.

4.2 Расчет концентрации хлорофилла «а» малых озер Валаамского архипелага

Измерения концентрации хлорофилла «а» проводилось несколько раз: в июне, начале и конце августа и октябре 2021 года.

В Таблице 4 приведены полученные значения в озере Антоньевское.

Таблица 4. Концентрация хлорофилла «а» в озере Антоньевское в 2021 году, мкг/л

горизонт	30.06.2021	06.08.2021	24.08.2021	06.10.2021
0 м	3,13	6,11	16,96	4,2
дно	6,54	14,76	20,16	2,55

Среднее значение концентрации хлорофилла «а» в данном озере составило 9,3 мкг/л. Далее озеро оценивалось по классификации трофических типов водоемов (См. Таблицу 5).

Таблица 5. Классификация трофических типов водоемов по содержанию хлорофилла «а», мкг/л (Даценко Ю.С., 2007)

Авторы	Трофические типы водоемов				
	УО	О	М	Э	ГЭ
Китаев (1984)		< 1,5–3	3–12	12–48	
Hendersen-Selers (1984)		< 4	4–10	10–100	
Vollenweider (1979)		1,7	4,2	14,3	
Винберг Г. Г. (1960)		< 1	1–10	10–100	> 100
Бульон (1983)		0,1–1	1–10	> 10	
Dobson et al (1974)		< 4,5	4,5–8,8	> 8,8	

По всем классификациям озеро относится к мезотрофному типу, кроме классификации Dobson et al (1974), по которой среднее значение концентрации хлорофилла «а» в озере Антоньевское едва пересекает нижнюю границу эфтрофного типа. Черты эвтрофии наблюдаются в период максимального цветения водорослей, когда значения содержания хлорофилла «а» значительно больше диапазона, соответствующего мезотрофному типу.

График динамики хлорофилла «а» за сезон в озере Антоньевском представлен на Рисунке 27.

Рисунок 27 - Динамика хлорофилла «а» за сезон в озере Антоньевском, мкг/л

На Рисунке 27 можно отметить, что максимальная концентрация хлорофилла «а» в озере Антоньевском наблюдалась в конце августа 2021, что связано с достаточным прогревом воды в конце лета. Минимум отмечается осенью.

В Таблице 6 приведены полученные значения концентрации хлорофилла «а» в озере Германовское.

Таблица 6. Полученные значения концентрации хлорофилла «а» в озере Германовское в 2021 году, мкг/л

горизонт	29.06.2021	05.08.2021	23.08.2021	07.10.2021
0 м	2,73	1,3	5,5	19,9
инт	2,19	5,63	6,78	12,58

Среднее значение концентрации хлорофилла «а» в Германовском озере составило 7,08 мкг/л. По всем используемым классификациям трофический тип озера мезотрофный. Динамика концентрации хлорофилла «а» в Германовском озере представлена на Рисунке 27.

Рисунок 27 – Динамика концентрации хлорофилла «а» в Германовском озере в 2021 году, мкг/л

По графику можно отметить, что максимальные значения наблюдаются в октябре 2021 года, минимальные в конце июня. В данном озере наблюдается температурная стратификация, озеро прогревалось дольше, чем Антоньевское, поэтому максимум отмечен в конце сезона. Также заболоченная территория на берегу озера служит своеобразным фильтром, не пускающим в него избыточное количество биогенных элементов, которые стимулируют рост и развитие водорослей.

В Таблице 7 приведены полученные результаты концентрации хлорофилла «а» в течение сезона 2021 году в озере Лещевое.

Таблица 7. Полученные значения концентрации хлорофилла «а» в 2021 году в озере Лещевое, мкг/л

горизонт	24.06.2021	20.07.2021	17.08.2021	08.10.2021
0 м	3,66	4,58	3,87	4,34
инт	4,88	8,69	11,09	8,13

Среднее значение концентрации хлорофилла «а» в 2021 году в озере Лещевое составило 5,27 мкг/л. По используемым классификациям трофический статус Лещевого озера мезотрофное. По сравнению с ранее описанными результатами, в данном озере во всех пробах значения соответствуют мезотрофному типу, кроме интегральной в августе, где значения чуть превышают нижнюю границу диапазона эфтрофного типа.

На Рисунке 27 можно наблюдать динамику концентрации хлорофилла «а» в озере Лещевое в 2021 году.

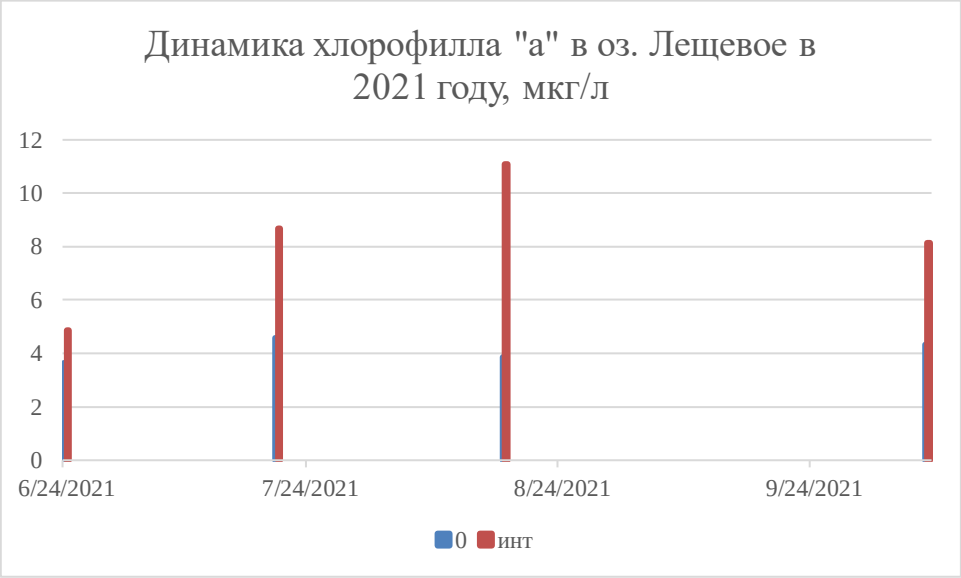

Рисунок 27 – Динамика концентрации хлорофилла «а» в озере Лещевое в 2021 году, мкг/л

На данном графике четко прослеживается разница значений на поверхности и в интегральной пробе водоема. Значения концентрации

хлорофилла «а» в интегральных пробах озера практически не менялись за сезон. Максимум на поверхности отмечен в конце августа 2021 года. Это объясняется слабым водообменом в озере, а также поступлением биогенов с мелиорируемого участка на территории водосбора озера.

В Таблице 8 представлены результаты расчета концентрации хлорофилла «а» в озере Оссиево.

Таблица 8. Полученные значения концентрации хлорофилла «а» в озере Оссиево в 2021 году, мкг/л

	22.06.2021	19.08.2021	05.10.2021
0 м	3,48	9,45	18,64
инт	9,69	15,22	15,98

Среднее значение концентрации хлорофилла «а» в данном озере составило 12,07 мкг/л. По всем используемым в работе классификациям озер по трофическому статусу Оссиево озеро относится к эвтрофному типу.

Динамика концентрации хлорофилла «а» в Оссиевом озере представлена на Рисунке 28.

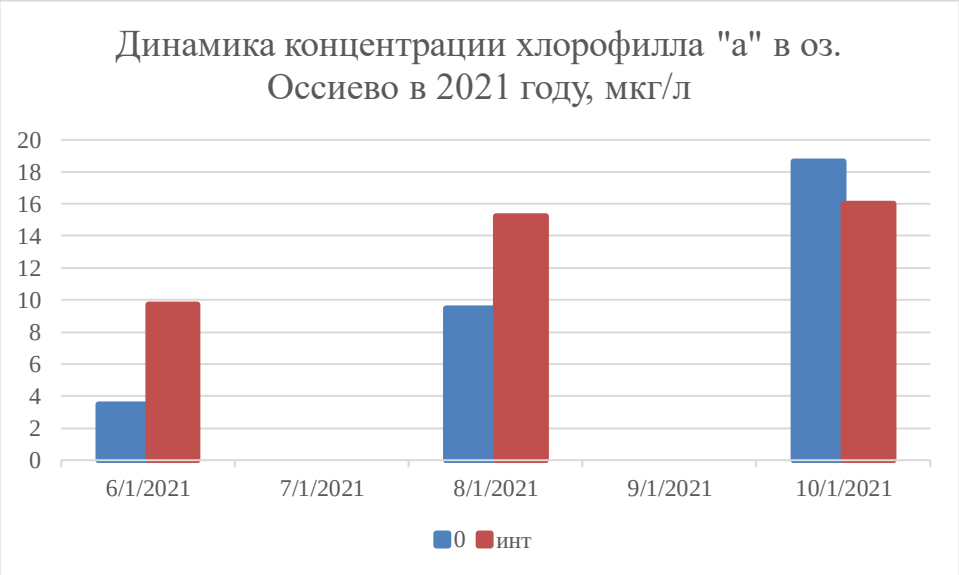

Рисунок 28 – Динамика концентрации хлорофилла «а» в Оссиевом озере в 2021 году, мкг/л

Динамика концентрации хлорофилла «а» на поверхности и в интегральной пробе водоема равномерно повышается, с максимумом в октябре 2021 году. Озеро Оссиево прогревается равномерно. Пик в осенний период создается за счет «цветения» цианобактерий и рафидофитовых водорослей, которые активно фотосинтезируют.

На Рисунке 29 приведено сравнение озер по среднему значению концентрации хлорофилла «а»

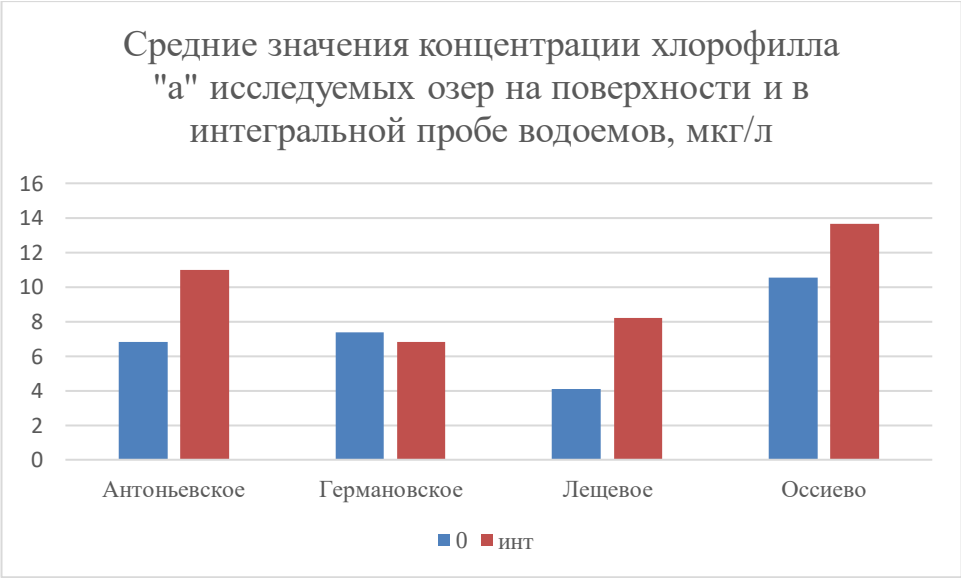

Рисунок 29 – Средние значения концентрации хлорофилла «а» в исследуемых озерах в 2021 году, мкг/л

Во всех озерах, кроме Германовского средние значения концентрации хлорофилла «а» на поверхности и в интегральной пробе водоемов существенно отличаются. Максимальные значения отмечены в озере Оссиево, это единственное из исследуемых озер, относящееся к другому трофическому типу. Минимальные значения концентрации хлорофилла «а» на поверхности Лещевого озера, так как это самое крупное из исследуемых озер, поступающие с водосбора биогены компенсируются большим объемом воды.

Изучив методы измерения концентрации хлорофилла «а», согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 и проведя анализ динамики значений за вегетационный период, были даны оценки трофическому статусу исследуемых водных объектов по различным классификациям. Антоньевское (9,3 мкг/л),

Германовское (7,08 мкг/л) и Лещевое (5,27 мкг/л) озера относятся к мезотрофному типу, Оссиево (12,07 мкг/л) – к эфтрофному.

4.3. Выводы

Остров Валаам интересен не только, как природный объект со своими особенностями, но и как территория, сохраняющая фоновые значения, что еще раз подтверждает практическую ценность выполненной работы. Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

1. При анализе флористического состава фитопланктона, получено, что было обнаружено 48 таксонов фитопланктона рангом ниже рода, относящихся к 8 отделам: *Cyanophyta* – 10, *Dinophyta* -1, *Euglenophyta* - 4, *Raphidophyta* -1, *Cryptophyta* - 3, *Chrysophyta* - 3, *Bacillariophyta* - 14, *Chlorophyta* – 20. Основу фитопланктона составляли широко распространенные пресноводные эврибионтные формы водорослей. К числу повсеместно встречающихся видов (в более чем 50% проб) можно было отнести - рафидофитовые (1), диатомовые (3), золотистые (2) водоросли.

2. Наиболее часто встречающиеся виды водорослей - *Dolichospermum spiroides, Gonyostonum semen, Tabellaria flocculosa, Gymnodinium sp2, Navicula radiosa, Botryococcus braunii.*

3. По показателям численности в различных озерах доминировали разные виды водорослей. Так, например, в Лещевом озере по показателям обилия доминируют диатомовые и рафидофитовые водоросли, в Оссиевом – золотистые, в Антоньевском – зеленые и в Германовском – зеленые и криптофитовые.

4. Показатели обилия варьировали в озерах значительно. Численность от 2367,12 тыс кл/л до 4936,12 тыс кл/л, биомасса (среднее значение) - от 1,78мг/л до 5,83 мг/л. Минимальные значения биомассы отмечены в озере Германовском в июне – 0,14 мг/л , максимальные значения – в июле в Лещевом озере – 12,04 мг/л. По вкладу в биомассу в Лещевом озере доминантными являются диатомовые водоросли, также в состав доминант входят рафидофитовые. В Оссиевом и Антониевском озере также доминантом являются рафидофитовые водоросли. В Антониевском в состав доминат

входят также зеленые водоросли. В Германовском обилие фитопланктона составляют криптофитовые и зеленые водоросли.

5. В работе был рассчитан индекс Шеннона, диапазон значений от 0,16 бит/мг (октябрь, Германовское озеро) до 2,87 бит/мг (Лещевое озеро, август). Сделан вывод о том, что наибольшее разнообразие по численности видов и биомассе наблюдается в Лещевом озере ($H_{ср}$.=2,42 бит/мг), наименьшее - в Германовском ($H_{ср}$.=1,4 бит/мг). Данный индекс может изменяться в диапазоне от 0 до 5, что говорит о том, что в исследуемых озерах в целом наблюдается средняя сложность структуры сообщества.

6. В данной работе были изучены методы измерения концентрации хлорофилла «а», согласно ГОСТ 17.1.4.02-90. На основе полученных данных был проведен анализ динамики значений за вегетационный период. Во всех озерах, кроме Германовского средние значения концентрации хлорофилла «а» на поверхности и в интегральной пробе водоемов существенно отличаются. Максимальные значения отмечены в озере Оссиево – 18,64 мкг/л, это единственное из исследуемых озер, относящееся к другому трофическому типу. Минимальные значения концентрации хлорофилла «а» на поверхности Лещевого озера – 3,66 мкг/л, так как это самое крупное из исследуемых озер, поступающие с водосбора биогены компенсируются большим объемом воды.

7. Даны оценки трофическому статусу исследуемых водных объектов по классификации по концентрации хлорофилла «а» Китаева. Антоньевское, Германовское и Лещевое озера относятся к мезотрофному типу, Оссиево – к эфтрофному.

8. По классификации Китаева по биомассе фитопланктона, было отмечено, что озера Оссиево, Лещевое и Антоньевское относятся к эвтрофному типу, Германовское к олиготрофному. Это объясняется различиями температуры воды и температурной стратификацией, которая характерна для данных водоемов.

Список используемых источников

1. Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние: Атлас / под ред. А.Б. Степановой. — СПб.: РГГМУ, 2016. — 44 с.

2. Амантов А.М. Этапы геологического развития Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб.: Издательство Российского Географического общества, 1993. С. 5–13.

3. Андреев А.П. Ладожское озеро. СПб, 1875. 398 с.

4. Веселова М.Ф. Кириллова В.А. Климатические особенности Ладожского озера // Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. – Л.: Наука,1966. – С.81-103.

5. Дыдик // Труды Карельского научного центра РАН. Экспериментальная биология. – 2012. – № 2. –С. 125-130.

6. Валаам — феномен природы/А. А. Кучко и др.— 5 Петрозаводск: Карелия, 1988.— 108 с.: ил.— (Природа и человек).

7. Степанова А.Б. Воякина Е.Ю. Шарафутдинова Г.Ф. Гидрохимические особенности малых озер Валаама – СПб: Гидрометеоиздат, 2010 - 109 с.

8. Кривопускова, Е. В. Предварительная оценка взаимосвязи концентрации общего фосфора и концентрации хлорофилла "а" в озере Виштынецком в летний период / Е. В. Кривопускова // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое : Материалы X Национальной (всероссийской) научно-практической конференции, Петропавловск-Камчатский, 19–21 марта 2019 года / Ответственный за выпуск Н.Г. Клочкова. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2019. – С. 107-110. – EDN PHEFUY.

9. ГОСТ 17.1.4.02-90 МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ВОДА. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла

10. Винберг, Г. Г. Первичная продукция водоемов / Г. Г. Винберг. – Мн., 1979. – С.187–269.

11. Воякина, Е. Ю. Особенности продукционных процессов в озерах Валаамского архипелага / Е. Ю. Воякина // Труды Зоологического института РАН. – 2017. – Т. 321. – № 1. – С. 10-18. – EDN YKWEIB.

12. Ильмаст Н. В., Кучко О. П., Милянчук Н. П. Водные экосистемы особо охраняемых природных территорий Карелии // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 6. С. 299–303

13. Теканова Е. В., Кравченко И. Ю., Потахин М. С., Богданова М. С. Анализ природных факторов формирования биологической продуктивности водоемов в разных ландшафтах Карелии // Принципы экологии. 2017. № 2. С. 61–69.

14. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с

15. Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

16. "Методы обработки фитопланктона" URL: https://studentopedia.ru/agropromishlennost/metodi-obrabotki-fitoplanktona--metodi-sgusheniya-i-konservacii-fitoplanktona---vozmozhnosti-i.html (Дата обращения 06.06.2022).

17. Воякина, Е. Ю. Особенности продукционных процессов в озерах Валаамского архипелага / Е. Ю. Воякина // Труды Зоологического института РАН. – 2017. – Т. 321. – № 1. – С. 10-18.

18. Семадени, И. В. Продукционные процессы в озерах о. Валаам с нарушенным и естественным режимами функционирования / И. В. Семадени, Е. Ю. Воякина // Метеорологический вестник. – 2017.

19. Воякина, Е. Ю. Сукцессия фитопланктона озер Валаамского архипелага / Е. Ю. Воякина // Вопросы современной альгологии. – 2021. – № 2(26). – С. 24-28. – DOI 10.33624/2311-0147-2021-2(26)-24-28.