



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Исследование взаимосвязи
абиотических и биотических
параметров в различные этапы
эвтрофирования Ладожского
озера**

Исполнитель Нефёдова Виктория Игоревна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Науменко Михаил Арсеньевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«06» июль 2017г.

Санкт-Петербург
2017

Содержание

Введение.....	3
1. Физико-географическое и лимнологическое описание	4
1.1 Морфологические особенности строения водосборного бассейна	4
1.2 Строение котловины ладожского озера и распределение глубин	5
1.3 Температурный режим	7
2. Фитопланктон и его влияние на трофический статус ладожского озера..	10
3. Исходные данные	15
4. Результаты	47
Заключение	77
Список литературы	79

ВВЕДЕНИЕ

Изучение состояния экосистем озер является важной и актуальной задачей лимнологии.

Ладожское озеро, расположенное на северо-западе России, является самым крупным пресноводным озером в Европе.

За счет своей уникальности, Ладожское озеро, в первую очередь, является основным и единственным источником питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга и других населенных пунктов, расположенных в пределах Ленинградской области. Кроме того, водные ресурсы озера используются для промышленных и сельскохозяйственных нужд.

Интенсивное антропогенное воздействие является причиной поступления биогенных веществ в озеро с обширного водосборного бассейна площадью 258 тысяч км². Биогенные вещества, например, такие, как фосфор, являются одним из лимитирующих факторов развития фитопланктона, напрямую влияющего на процесс эвтрофирования. Поэтому актуальным является изучение экосистемы озера и анализ его изменения, чтобы поддерживать стабильность трофического статуса Ладожского озера на фоне снижения антропогенного воздействия.

Целью данной работы является изучение общих закономерностей сезонного развития фитопланктона в Ладожском озере. Для достижения указанной цели были выполнены следующие задачи:

- 1. Сбор информации и подготовка ее для последующего анализа;
- 2. Выявление особенностей сезонного хода фитопланктона по лимническим зонам;
- 3. Выявление связи прозрачности вод Ладожского озера с биогенным компонентом (биомасса фитопланктона);
- 4. Выявление связи прозрачности вод Ладожского озера с абиотическим компонентом (общая взвесь).

1. Физико-географическое и лимнологическое описание

1.1 Морфологические особенности строения водосборного бассейна

Ладожское озеро – крупнейший водоем на северо-западе России. Северная его часть располагается на территории холмисто-равнинного рельефа. Абсолютные отметки не превышают 200 м над ур. м. Отдельные массивы на северо-западе и западе достигают высоты 350 — 600 м.

Площадь зеркала озера составляет 17765 км², длина его – 219 км, а максимальная ширина – 125 км. Наибольшая глубина – 230 м, а средняя – 47.8 м. Объем воды в озере – 847.8 км³ [1]. Длина береговой линии (без островов, которых насчитывается более 500) равняется 1570 км.

Водосборный бассейн озера имеет площадь 282.6 тыс. км² и в 14,6 раз превышает площадь водного зеркала водоема. Выделяют четыре вторичных водосборных бассейна: Онежско-Свирский, Ильмень-Волховский, Саймо-Вуоксинский и частный бассейн Ладожского озера. На водосборе озера насчитывается более 48 тыс. водотоков общей протяженностью свыше 126.5 тыс. км [2].

Геосистема Ладожского озера сформировалась под влиянием тектонических и климатических факторов. Северная часть водосбора располагается на Балтийском кристаллическом щите. Геологическое строение этой части представлено, в основном, гранитами и гнейсами. В этой части водосбора располагается Западно-Карельская возвышенность, с отметками 200–400 м. Далее, в направлении к Ладожскому озеру рельеф сменяется на холмисто-равнинный с высотами 30–70 м. Южная часть территории бассейна Ладожского озера отличается равнинным рельефом. Наибольшую площадь здесь занимает Ловать-Ильмень-Волховская низина, которую опоясывают возвышенности высотой до 300 м, где преобладают холмистые ледниковые формы рельефа. С запада и юга это Лужская, Судомская, Бежаницкая и Вязовская возвышенности, с юго-востока —

Валдайская возвышенность с абсолютными отметками от 150 до 300 м, с северо-востока — Вепсовская возвышенность и Тихвинская гряда.

1.2 Строение котловины Ладожского озера и распределение глубин

Котловина озера вытянута в направлении северо-запада и представляет собой крупную депрессию. Навигационный уровень воды располагается на высоте 5,1 м БС. В пределах современного дна озера проходит зона сочленения Балтийского щита и Русской плиты. В четвертичную эпоху в этой зоне происходили процессы развития материкового оледенения [3].

Акватория озера делится на открытую часть и шхерную, расположенную в северном районе озера. Последняя представляет собой многочисленные заливы и проливы, отделенные друг от друга островами. Эта своеобразная часть водоема составляет лишь 6% от площади всего озера. В основной своей массе заливы ориентированы с северо-запада на юго-восток и глубоко врезаются в сушу [4].

Открытая часть озера характеризуется постепенным уменьшением глубин с севера на юг, соответственно от 100-150 м до 60-70 м в центре и до 10 м на юге. Максимальная глубина, равная 230 метрам находится к западу от острова Валаам. В южном районе водоема выделяются три больших мелководных залива бухта Петрокрепость, Волховская и Свирская губы.

В Ладожском озере выделены шесть районов с разным диапазоном глубин. Их распределение представлено на рисунке 1.2.1. Каждый район обладает собственными характеристиками. Лимническое районирование глубин озера проведено для изучения эволюции физико-химических и биологических процессов в сезонном и годовом цикле [5].

Первая зона глубин – мелководный район– глубины варьируются от 0 до 18 метров. Данный район включает в себя прибрежную часть озера, располагающуюся в его южной части. Площадь мелководной зоны составляет 5550 км², объем воды в этой части озера составляет 46,3 км³ (5,5%

от общего объема вод). Изобата с глубиной 18 метров является границей данного района, удаленность ее от берега изменяется от 4 до 62 км. Характеризуется мелководная зона, в первую очередь, изменением ледового режима (раннее замерзание и вскрытие, активным турбулентным обменом, влияющим на распределение тепла в толще воды, низкая прозрачность и повышенные концентрации взвешенного вещества и биогенных элементов.

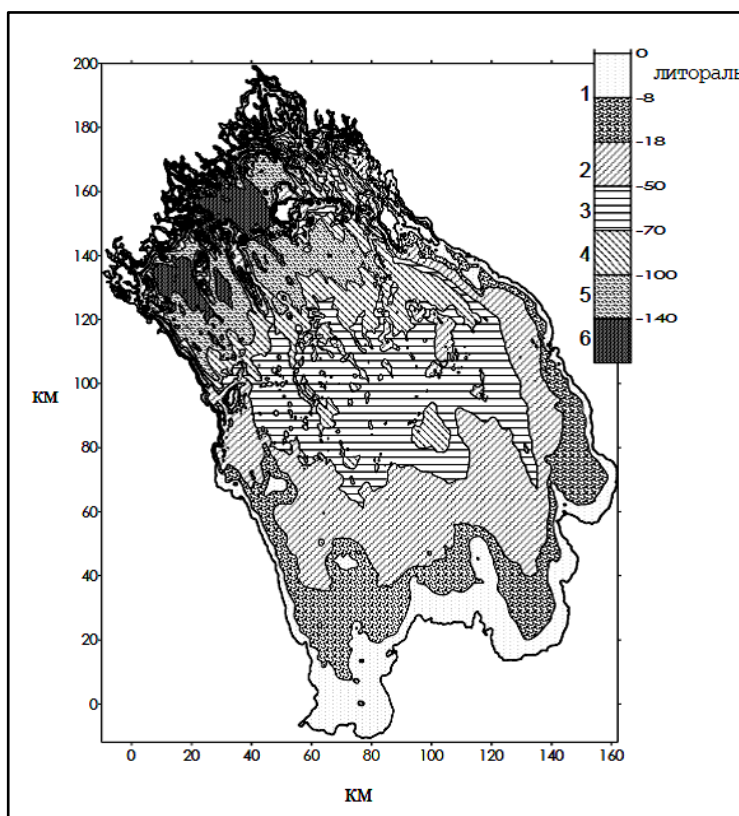


Рисунок 1.2.1- Лимнические районы Ладожского озера [5]

Вторая зона глубин – переходный район - ограничивается изобатами с глубинами 18 и 50 метров. Площадь района составляет 4685 км^2 . Объем воды в этой части равен 153.3 км^3 . Переходная зона глубин характеризуется вихреобразованием, ввиду перехода от прибрежной зона к пелагеали, то есть от зоны придонного трения к области, не испытывающей влияния берегов и дна. В переходном районе наблюдается запаздывание прогрева водных масс.

Третья зона глубин диапазон которых варьируется от 50 до 70 метров называется районом озерного уступа и имеет практически такой же уклон дна, что и мелководный. Данная часть озера обладает наибольшим объемом воды по сравнению с остальными районами озера – 223.3 км^3 , что составляет

27% водной массы Ладоги. Площадь данного района - 3797 км². Разгон ветра в этом районе максимален в силу наибольшей удаленности от берегов. Ко второй половине летнего периода водная толща этого района практически полностью стратифицирована.

Четвертая зона глубин - склоновый район. Границы этого района представлены 70 и 100-метровыми изобатами. Склоновый район занимает общую площадь 1746 км² при объеме вод 144.9 км³.

Пятая зона глубин - глубоководный район (100 – 140 м). Его площадь составляет 1521 км². Обладает вторым после района озерного уступа объемом воды, равным 178.4 км³.

Шестая зона – впадины, характеризующиеся глубинами более 140 м. Впадины обособлены друг от друга. При наименьшей в отличии от других районов площади, равной 568 км², объем данной части озера составляет 91.7 км³, что в два раза превышает объем мелководного района. Уклон дна во впадинах максимален. Они обладают наибольшей тепловой инерцией. В период нагревания они выделяются наименьшими температурами поверхности воды, в осенний и зимний периоды обладают наибольшими теплозапасами [5].

1.3 Температурный режим

Сложная морфометрия озера определяет особенности его термического и гидродинамического режима, которые играют ключевую роль в пространственно-временной разнородности озерных процессов. Различная скорость прогрева воды в весенний период и охлаждения ее осенью в прибрежной мелководной зоне и в глубоководных районах озера, приводит к существованию термического бара, условной границей которого является вода с температурой наибольшей плотности в 4 °С [6]

Термобар делит озеро на прибрежную теплоактивную и центральную глубоководную теплоинертную область, которые резко различаются по

физико-химическим и лимнологическим свойствам и условиям обитания организмов. По мере аккумуляции тепла водной массой термобар перемещается по уклону дна вдаль от берега, пока не исчезает с поверхности в начале гидрологического лета.

Ладожское озеро является димиктическим, так как температура воды в нем дважды в течение года достигает температуры наибольшей плотности 4 °С в период весеннего нагревания и осеннего охлаждения, что приводит к полному вертикальному перемешиванию и существованию термического бара.

Теплосодержание водной массы озера является важнейшей характеристикой взаимодействия поверхности озера с атмосферой, определяет способность озера накапливать тепло, представляется необходимым показателем при исследовании климатических изменений. По мере роста поверхностных температур воды теплоактивная область расширяется, а изотермная соответственно сокращается. В теплоактивной области наблюдается тенденция к установлению прямой термической стратификации водных масс. Период весеннего нагревания продолжается с середины марта до середины июля, когда термический бар разрушается и происходит выравнивание поверхностных температур воды по всей акватории водоема [6].

Около 200 дней в году средняя температура всей водной массы озера меньше 4 °С и 165 дней превышает ее, достигая максимальной, равной 7,8 °С, в первой декаде сентября. Минимальную температуру (+0,6 °С), так же, как и наименьшее теплосодержание, водная масса озера имеет в первую декаду апреля.

Температура поверхности воды Ладожского озера обычно достигает максимума в начале – середине августа, через месяц после исчезновения весенней термической зоны и возникновения полной первичной устойчивой стратификации в озере. С этого момента начинается период осеннего

охлаждения озера, причем южные мелководные районы начинают охлаждаться раньше, чем самые глубоководные области озера.

В период осеннего охлаждения в поверхностном слое воды наблюдается свободная конвекция при усиленной волновой и ветровой деятельности. К окончанию этого периода толщина поверхностного слоя может достигать 30–40 м. Отдача тепла со всей поверхности озера практически одинакова независимо от морфометрии лимнических районов. Температура поверхности воды выше температуры водной массы только в начале осеннего периода, с середины ноября их значения сравниваются.

Во второй половине декабря средняя температура всей водной массы приближается к 2 °С. В этот период поверхность озера может быть уже покрыта льдом более чем на 20%. Тепло сосредотачивается в придонных горизонтах.

Лед на озере устанавливается от прибрежной зоны в соответствии с нарастанием глубин. Озеро полностью покрывается льдом в среднем около 15 февраля, однако раз в 4 – 5 лет его центральная часть не замерзает. Средняя толщина льда в марте составляет 50 – 60 см. Полностью озеро очищается ото льда около 5 – 10 мая [7].

Доминирующим типом почвообразования в бассейне Ладожского озера является подзолистый. Отмечается также процесс оглеения на территории водосбора. В зависимости от интенсивности их проявления формируются дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоливания, в основном дерново-средне- и сильноподзолистые почвы.

Водосбор расположен в зоне тайги и зоне смешанных лесов. Для территории наиболее типичны еловые леса, характер которых существенно меняется с севера на юг – от среднетаежных черничных зеленомошников к южнотаежным с дубравными элементами в травяном покрове и к сложным ельникам с широколиственным подлеском в зоне смешанных лесов. В

последней встречаются и широколиственные леса, площадь которых значительно сократилась из-за распашки территории.

На формирование климата значительное влияние оказывает атлантический перенос морских воздушных масс, которые с западными циклонами приносят большое количество осадков. Характерными являются и вторжения арктического воздуха. Территория бассейна характеризуется умеренным климатом со сравнительно теплым, влажным летом и холодной облачной зимой.

2. Фитопланктон и его влияние на трофический статус ладожского озера.

Ладожское озеро до начала 60-х годов представляло собой типичный олиготрофный водоем. Это обуславливалось низким содержанием биогенных элементов в озерных водах, размерами котловины озера и его холодноводностью. Численность фитопланктона не превышала 2 млн. кл/л и зависело от содержания в воде фосфора.

Интенсивная урбанизация, рост населения, сельского хозяйства и промышленности, наблюдавшийся с середины двадцатого столетия, привел к увеличению антропогенного воздействия на водосбор Ладожского озера. Применение новых средств освоения природы человеком привели к увеличению концентраций биогенных элементов, поступающих с водосбора, что привело к активному развитию фитопланктона, а именно изменению его численности и биомассы. Е.Н. Балахонцев, изучавший фитопланктон в начале 20-го века, отметил, что в период с 1960 до 1980 численность весеннего фитопланктона по озеру в целом выросла в 4 раза, а летнего – в 6. В тоже время до 1960 года отмечалось преобладание диатомовых водорослей, что подтверждает олиготрофный статус Ладожского озера в данный период.

По данным Е.Н. Балахонцева, темп ежегодного роста численности весенних видов фитопланктона в южной части озера за период с 1906 по 1962

составлял 3,5 тыс.кл/л в год. В последующие 17 лет этот показатель увеличился до 116,3 тыс. кл/л в год. То есть, развитие фитопланктона во второй половине 20-го века, происходило интенсивнее более, чем в 30 раз. Для летнего фитопланктона отмечены изменения концентрации с 1,1 до 41,2 тыс.кл/л.

К 1979 году отмечалось преобладание диатомовых, синезеленых и зеленых водорослей. Преобладающими видами фитопланктона в Ладожском озере являлись *Melosira islandica*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata*, *Woronichinia naegeliana*, *Aphanizemon flosaquae*, *Sphaerocystis Schroeteri*.

При этом количество видов фитопланктона не изменилась, а количественное соотношение между ними оставалось стабильным, что указало на увеличение плотности популяций видов водорослей и уровня первичной продукции. Таким образом, отмечен переход от ранее олиготрофного состояния экосистемы Ладожского озера к мезотрофному.

Последний этап исследований фитопланктона с 1992 по 2009 г. приходится на период снижения антропогенной нагрузки на водоем и, соответственно, уменьшения концентраций соединений фосфора в воде [7].

Наиболее разнообразно представлены зеленые, диатомовые и синезеленые. Анализ списков водорослей, существующих в Ладожском озере, показал, что 90% всех видов относятся к редким и случайным. Присутствие или отсутствие их в тот или иной период исследований не является показателем изменения среды. Главный приоритет в меняющихся условиях среды водоема принадлежит массовым видам, которые являются доминантами (и составляют от 20 до 100% в общей биомассе) и субдоминантами (от 5 до 20% соответственно). По результатам мониторинга фитопланктона с 1992 по 2009 гг. кардинальные изменения произошли в сообществе летом. Помимо массового развития синезеленых, их содоминантами становятся криптофитовые, которые, по сути, являются одной из лидирующих групп в составе современного фитопланктона с середины июня до середины сентября [8].

Распределение фитопланктона с глубиной зависит от морфометрических особенностей дна, распределения температур и интенсивности перемешивания водных толщ.

Поздняя биологическая весна при варьирующихся температурах от 6 до 9°C в толще воды с глубинами от 0 до 25 метров фитопланктон представлен диатомовыми и криптофитовыми водорослями.

В летний период в центральном районе озера с глубинами до 70 метров обладают температурой ниже 4°C. В объеме воды от поверхности до дна преобладают диатомовые водоросли. Биомасса фитопланктона не изменяется с глубиной.

К концу летнего периода (август) фитопланктон формируется за счет доминантных видов синезеленых водорослей, температура воды колеблется от 13 до 20°C.

С увеличением глубины количественные показатели доминирующих видов сокращаются в 5-15 раз по сравнению с приповерхностным слоем. На глубинах от 10 до 25 метров наблюдаются в основном диатомовые и криптофитовые водоросли.

В осенний период в глубоководном районе температура воды достигает 7-8°C. Фитопланктон равномерно распределяется в водной массе до глубины 25 метров. Фитопланктон представлен видами, активно развивающимися в летний период, отмечается снижение их количественных показателей.

В мелководном районе в конце весеннего и начале летнего периода до глубины 11 метров фитопланктон представлен диатомеями, криптофитами и синезелеными водорослями. Температура воды достигает 12°C. Середина лета характеризуется однородным распределением температур, достигающих 16°C. Основные фитопланктонные представители: криптофитовые, синезеленые и диатомовые водоросли. Осенью, пока сохраняется гомотермия, фитопланктон равномерно распределен по всей мелководной части озера Преобладают диатомовые и синезеленые водоросли [9].

В первую очередь, и в глубоководным и в мелководном районах распределение фитопланктона с глубиной тесно связано с сезонной сменой доминантных видов (сукцессией). Равномерному распределению фитопланктона в толще воды способствует вертикальная стратификация водных масс. В мелководном районе большую роль на распределение фитопланктона играет ветровое воздействие [4].

Трофический статус водоема – сложная характеристика, отражающая совокупность биотических и абиотических факторов. В качестве этих факторов рассматриваются содержание биотических веществ, кислорода, величина минерализации, степень прозрачности, продуктивность, разнообразие и устойчивость видов природных сообществ, а также морфометрические и гидрофизические особенности водоема. При учете такого количества показателей возникает проблема определения трофического типа крупных озер [10].

Опираясь на исследования Балахонцева Е.Н. в период с 1906 по 1960 года трофический тип Ладожского озера был определен, как олиготрофный. Отличительными особенностями данного типа трофии заключается в низких концентрациях биогенных веществ (таких как азот и, главным образом, фосфор), следовательно, слабым развитием фитопланктона, высокой степенью прозрачностью и т.д. Увеличение антропогенной нагрузки на водоем, а именно поступление больших концентраций фосфора, привело к активному развитию в озере фитопланктона. Помимо биотических компонентов, важным для роста водорослей являются термический режим озера и количество света, проникающего сквозь водную толщу. Существующее в весенний и осенний периоды явление термобара влияет на вегетацию фитопланктона в мелководной зоне. Малые глубины этой зоны лимитируют воспроизводство органического вещества в процессе фотосинтеза [11].

Органическое вещество в своей основной массе продуцируется в летний период. Однако, для определения трофического статуса озера необходимо учитывать также деструкцию органического вещества.

В летний сезон активно проходит процесс фотосинтеза, особенно в поверхностном слое воды. Скорость фотосинтеза по акватории варьируется от 0,17 до 3,4 г O₂ м⁻³ сутки. Скорость деструкции колеблется от 0,12 до 1,92 г O₂ м⁻³ сутки. Соотношение показателей этих скоростей дает возможность оценить способность водоема к самоочищению. Распределение продуцированного и деструктированного вещества по акватории озера не одинаково. Максимальное значение концентрации воспроизведенного вещества наблюдается в южной части озера. Показатель деструкции органического вещества выше в северных районах Ладоги. Отношение валовой первичной продукции к деструкции по акватории озера уменьшается от юга к северу (от 1.4 до 0.6) [7].

Логично предположить, что превышение деструкции над продуцируемым веществом показывает, что озеро способно к самоочищению, а, следовательно, имеет олиготрофный трофический статус.

Как было отмечено выше, деструкция и продукция органического вещества варьируется по акватории, значит, их соотношения также будет изменяться в зависимости от района. Таким образом, в разных своих частях озеро обладает различными трофическими статусами. Соответственно, меньший показатель, соответствующей северной и центральной районам озера, определяет олиготрофный тип Ладожского озера. Соотношение, превышающее единицу, наоборот, является индикатором эвтрофирования той части озера и относится к типу слабomezотрофных. Таким образом, поверхностный слой Ладожского озера характеризуется переходом между трофическими уровнями от олиготрофного к слабomezотрофному [12].

Исследования показали, что в середине 1980-х гг. разрушаемое органическое вещество в летний период, особенно в его глубоководных

районах, значительно превышало первичную продукцию [13]. Аналогичная ситуация сохраняется до настоящего времени.

3. Исходные данные

При написании магистерской диссертации использовались полученные от лаборатории гидрологии Института озероведения РАН данные, которые включают в себя следующие показатели: температура воды, видимость белого диска Секки, мутность (содержание общей и органической взвесей), биомасса. Основополагающими для диссертации являются результаты обработки данных по содержанию видов фитопланктона в пробах Ладожского озера. Данные предоставлены за период с 1992 по 2013 год.

Ниже представлены таблицы статистически обработанных данных, в котором представлены следующие параметры: количество членов ряда n , максимальные и минимальные концентрации фитопланктона, разница между минимальными и максимальными концентрациями, среднее содержание фитопланктона и среднеквадратическое отклонение.

В данной работе для оценки развития фитопланктона в Ладожском озере использовались средние значения. Также при выводах учитывались длины рядов имеющихся данных.

Для изучения биотических факторов, влияющих на экологическое состояние Ладожского озера использовались данные, содержащие 18 основных видов фитопланктона. Станции отбора проб фитопланктона представлены на рисунке 3.1.

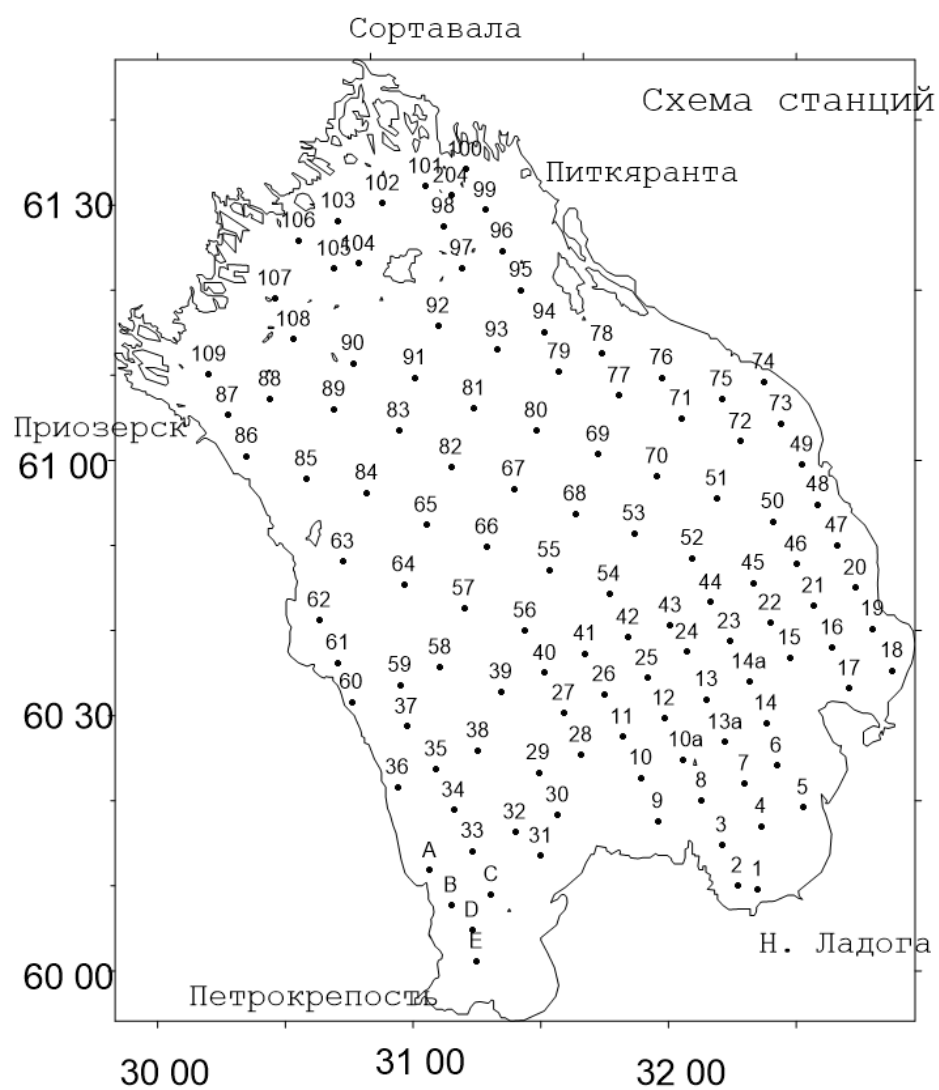


Рисунок 3.1 – Схема станций Ладожского озера [4]

Таблица 3.1 - Статистические данные по фитопланктону для зоны 1 с глубинами [0;18] метров

1	Aulacoseira islandica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	26	29	50	106	33	45	8
min	80	0	0	0	0	0	4
max	1476	570	740	576	472	690	124
range	1396	570	740	576	472	690	120
$\bar{x}$	626.270	122.862	33.1	46.953	83.121	93.134	59.375
σ_x	433.639	155.906	111.866	105.489	97.804	156.917	48.518
2	A. italica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	3944	1640	2160	3555	192	1340	400
range	3944	1640	2160	3555	192	1340	400
$\bar{x}$	568.1	124.828	60.4	112.377	21.027	57.266	70.375
σ_x	1011.338	321.206	307.428	459.346	40.782	205.021	135.358
3	A. subarctica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	4
max	1216	1104	198	236	192	1780	148
range	1216	1104	198	236	192	1780	144
$\bar{x}$	169.407	125.552	11.94	14.283	21.027	63.801	41.625
σ_x	244.784	290.139	32.572	34.43	40.782	263.791	54.579

4	Melosira binderana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	6	16	264	1170	1328	266	0
range	6	16	264	1170	1328	266	0
$\bar{x}$	0.222	0.965	6.48	27.274	56.351	15.69	0
σ_x	1.155	3.65	37.697	129.145	225.388	49.752	0
5	Asterionella formosa						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	440	1084	391	264	240	198	10
range	440	1084	391	264	240	198	10
$\bar{x}$	155.185	209.724	26.32	15.490	19.838	11.133	1.586
σ_x	144.154	271.03	62.086	32.026	43.084	33.082	4.407
6	Tabellaria fenestrata						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	60	84	100	196	104	291	9
range	60	84	100	196	104	291	9
$\bar{x}$	5.037	13.827	9.22	18.679	17.540	18.533	1.5
σ_x	13.317	21.223	22.628	38.170	23.392	54.890	3.207

7	Fragilaria crotonensis						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	160	140	40	1420	540	235	15
range	160	140	40	1420	540	235	15
$\bar{x}$	7.555	10	3.74	103.038	45.865	23.467	2.625
σ_x	31.424	31.848	9.249	224.556	96.361	44.812	5.423
8	Fragilaria carucina						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	45	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	45	120	32	340	740	240	60
range	45	120	32	340	740	240	60
$\bar{x}$	3.148	4.138	1.74	10.934	78.649	16.778	7.5
σ_x	11.364	22.283	6.223	46.968	245.562	52.030	21.213
9	Cryptomonas sp						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	8	18	36	8	20	2	8
max	944	576	784	494	402	183	38
range	936	558	748	486	382	181	30
$\bar{x}$	131.296	200.552	265.22	160.292	101.108	40.545	17.5
σ_x	190.518	155.273	204.823	97.308	89.457	36.225	12.107

10	Rhodomonas lacustris						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	120	200	80	50	100	20	20
max	1720	1760	3800	2400	1280	960	240
range	1600	1560	3720	2350	1180	940	220
$\bar{x}$	580	790.345	677.44	623.378	345.513	221.227	95
σ_x	328.961	473.931	645.050	429.803	275.889	200.792	68.243
11	Aphanizonemon flos-aq						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	145	0	216
max	252	13500	3636	7920	4284	6030	1440
range	252	13500	3636	7920	4139	6030	1224
$\bar{x}$	35.333	949.276	757.98	1243.170	1610.594	971.363	546.75
σ_x	60.008	2617.582	740.259	1426.754	1337.005	1060.062	396.109
12	Анабаена sp.(сб)						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	280	2950	1500	9768	2850	1716	40
range	280	2950	1500	9768	2850	1716	40
$\bar{x}$	10.370	150.345	252	1043.557	345.513	64.5	5
σ_x	53.8865	553.292	342.182	1836.542	275.889	262.166	14.142

13	Woronichinia naegeliana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	1000	1600	8400	6400	4200	1400
range	0	1000	1600	8400	6400	4200	1400
$\bar{x}$	0	81.034	115.6	602.962	883.784	420.227	412.5
σ_x	0	262.683	341.193	1435.631	1495.087	801.137	615.136
14	Microcystis grevelii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	8000	26400	600	600	0
range	0	0	8000	26400	600	600	0
$\bar{x}$	0	0	201.4	677.641	89.189	30.909	0
σ_x	0	0	1149.044	3061.235	303.483	112.432	0
15	Microcystis wesenbergii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	1200	120	0	33600	1000	200	0
range	1200	120	0	33600	1000	200	0
$\bar{x}$	44.44	7.586	0	942.641	515.676	4.545	0
σ_x	230.940	28.492	0	4048.71	1322.921	30.151	0

16	Dinobryon divergens						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	136	464	166	154	20	78	0
range	136	464	166	154	20	78	0
$\bar{x}$	16.741	67.690	11.6	7.906	2.540	4.932	0
σ_x	35.288	111.010	32.004	24.962	12.513	15.838	0
17	Uroglena americana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	268	0	0
max	760	940	3520	5720	0	80	120
range	760	940	3520	5720	48	80	120
$\bar{x}$	52.592	128.965	181.60048	75.849	7.243	8.182	15
σ_x	152.027	272.637	640.763	568.418	14.872	21.703	42.426
18	Tribonema affine						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	27	29	50	106	37	44	8
min	0	0	0	0	0	0	0
max	300	190	340	624	40	514	191
range	300	190	340	624	40	514	191
$\bar{x}$	34.444	63.931	88.32	95.387	94.297	117.773	50.875
σ_x	63.654	63.807	76.459	117.384	126.993	120.067	60.570

Таблица 3.2 - Статистические данные по фитопланктону для зоны с глубинами [18; 50] метров

1	Aulacoseira islandica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	10	40	0	0	0	0	18
max	532	410	48	480	748	49	112
range	522	370	48	480	748	49	94
$\bar{x}$	259.9	294.25	6.118	26.33	70.727	17.504	52.5
σ_x	179.545	171.216	12.484	81.828	172.899	18.653	44.132
2	A. italica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	245	33	37	808	54	60	20
range	245	33	37	808	54	60	20
$\bar{x}$	52.8	14	5.235	31.444	6.545	6.917	6.5
σ_x	86.353	16.673	10.721	122.801	16.038	17.671	9.434
3	A. subarctica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	10	0	0	0	0	6
max	236	46	20	90	96	30	44
range	236	36	20	90	96	30	38
$\bar{x}$	72.9	34	3.353	9.911	10.318	6.418	22.75
σ_x	69.561	16.248	6.314	19.808	21.272	8.478	18.319

4	Melosira binderana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	10	0	0	6	0
range	0	0	10	0	0	6	0
$\bar{x}$	0	0	0.588	0	0	0.5	0
σ_x	0	0	2.425	0	0	1.7329	0
5	Asterionella formosa						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	7	0	0	0	0	4
max	168	180	380	128	12	17	20
range	168	173	380	128	12	17	16
$\bar{x}$	67.5	91.25	30.765	11.133	2	5.083	8.5
σ_x	59.27	92.453	91.335	23.767	3.703	6.127	7.681
6	Tabellaria fenestrata						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	37	0	35	170	76	6	9
range	37	0	35	170	76	6	9
$\bar{x}$	9.7	0	3.412	17.289	15.545	1.083	2.75
σ_x	15.986	0	8.718	37.188	23.118	2.151	4.272

7	Fragilaria crotonensis						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	12	4
min	0	0	0	0	157	0	0
max	24	0	90	1420	0	110	0
range	24	0	90	1420	54	110	0
$\bar{x}$	2.8	0	8.118	101.467	7.1363	10.083	0
σ_x	7.554	0	23.211	237.954	14.204	31.538	0
8	Fragilaria carucina						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	40	0	0	200	20	0.014	0
range	40	0	0	200	20	0.014	0
$\bar{x}$	4	0	0	5.333	0.909	0.0012	0
σ_x	12.649	0	0	30.271	4.264	0.004	0
9	Cryptomonas sp						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	7	2	67	40	8	2	2
max	156	188	1112	1088	174	243	13
range	149	186	1045	1048	166	241	11
$\bar{x}$	43.5	91.5	316.647	185.244	61.318	35.545	8
σ_x	47.768	98.148	291.524	166.874	49.016	69.147	4.546

10	Rhodomonas lacustris						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	40	120	160	80	40	36	20
max	800	920	1680	2960	1120	900	160
range	760	800	1520	2880	1080	864	140
$\bar{x}$	324.4	402.5	609.412	664.489	322.727	182.182	85
σ_x	279.615	378.451	406.024	539.080	288.133	241.471	66.081
11	Aphanizonemon flos-aq						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	88	0	88	97	216
max	72	1332	3420	22000	9600	1272	360
range	72	1332	3332	22000	9512	1175	144
$\bar{x}$	18	333	969.118	1914.044	1812.591	576.909	306
σ_x	30.594	666	870.155	3575.173	2090.226	322.003	68.935
12	Анабаена sp.(сб)						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	16	864	4800	4800	53	0
range	0	16	864	4800	4800	53	0
$\bar{x}$	0	4	222.882	509.422	377.773	12.091	0
σ_x	0	8	233.224	870.257	1040.886	20.997	0

13	Woronichinia naegeliana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	50	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	1600	4200	2000	1500	1300
range	0	0	1600	4200	2000	1500	1300
$\bar{x}$	0	0	115.6	328.333	490.909	639.091	325
σ_x	0	0	341.193	810.121	640.617	538.525	650
14	Microcystis grevelii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	29	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	1600	1600	800	0	0
range	0	0	1600	1600	800	0	0
$\bar{x}$	0	0	141.176	77.33	45.454	0	0
σ_x	0	0	400.092	277.991	173.829	0	0
15	Microcystis wesenbergii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	9600	6000	0	0
range	0	0	0	9600	6000	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	393.33	800	0	0
σ_x	0	0	0	1586.93	1727.371	0	0

16	Dinobryon divergens						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	140	20	260	152	0	0	0
range	140	20	260	152	0	0	0
$\bar{x}$	23.3	5	20.647	10.267	0	0	0
σ_x	46.524	10	63.680	33.400	0	0	0
17	Uroglena americana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	216	120	6640	520	40	20	20
range	216	120	6640	520	40	20	20
$\bar{x}$	25.6	30	643.529	18.222	1.818	3.273	5
σ_x	68.071	60	1763.409	79.638	8.528	7.336	10
18	Tribonema affine						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	45	22	11	4
min	0	0	0	0	0	0	0
max	40	100	172	764	728	107	44
range	40	100	172	764	728	107	44
$\bar{x}$	9.2	33.75	77.823	105.622	110.909	51.364	20.25
σ_x	13.734	47.148	50.553	145.419	169.105	33.819	18.626

Таблица 3.3 - Статистические данные по фитопланктону для зоны 3 с глубинами [50;70] метров

1	Aulacoseira islandica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	185	296	91	24	90	11	30
range	185	296	91	24	90	11	30
$\bar{x}$	69.9	88.889	12.529	1.815	5.625	1.925	7.6
σ_x	68.361	102.738	28.721	5.923	22.5	3.172	12.992
2	A. italica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	45	176	16	96	29	10	0
range	45	176	16	96	29	10	0
$\bar{x}$	10.9	21.889	1.763	4.852	1.8125	1.346	0
σ_x	18.003	58.014	4.465	18.714	7.25	3.174	0
3	A. subarctica						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	4
max	98	60	60	40	20	16	36
range	98	60	60	40	20	16	32
$\bar{x}$	31.9	22.556	5.412	3.630	1.75	5.309	17.6
σ_x	29.890	21.605	14.879	9.479	5.26	5.937	14.380

4	Melosira binderana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	126	0	0
range	0	0	0	0	126	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	0	7.875	0	0
σ_x	0	0	0	0	31.5	0	0
5	Asterionella formosa						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	19	1100	275	112	52	208	10
range	19	1100	275	112	52	208	10
$\bar{x}$	5.4	201.556	49.706	17.519	4.625	13.654	2
σ_x	6.150	390.528	77.434	31.095	12.981	43.077	4.472
6	Tabellaria fenestrata						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	50	30	132	10	40	6
range	0	50	30	132	10	40	6
$\bar{x}$	0	5.667	5.00	11.667	1.125	4.192	1.2
σ_x	0	16.628	9.830	28.290	2.705	9.287	2.683

7	Fragilaria crotonensis						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	280	800	150	8	0
range	0	0	280	800	150	8	0
$\bar{x}$	0	0	28.530	130.037	18.4375	0.461	0
σ_x	0	0	71.566	230.459	40.075	1.726	0
8	Fragilaria carucina						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	26	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	10	0	0	0.017	0
range	0	0	10	0	0	0.017	0
$\bar{x}$	0	0	0.588	0	0	0.001	0
σ_x	0	0	2.425	0	0	0.004	0
9	Cryptomonas sp						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	140	28	11	3	2
max	7	590	5400	1540	332	528	10
range	7	590	5260	1512	321	525	8
$\bar{x}$	3.5	118.111	972.353	249.889	85.375	55.25	6.8
σ_x	2.321	191.144	1206.429	286.149	93.487	119.930	3.271

10	Rhodomonas lacustris						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	20	40	0	40	100	8	40
max	100	6000	9360	2560	1240	640	80
range	80	5960	9360	2520	1140	632	40
$\bar{x}$	63.6	1254.444	2245.529	577.33	320	102.042	52
σ_x	28.995	2004.764	2787.797	522.270	306.377	125.077	17.888
11	Aphanizonemon flos-aq						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	132	14	72
max	36	1080	9360	16368	5984	1488	360
range	36	1080	9360	16368	5852	1474	288
$\bar{x}$	3.6	259.11	2245.529	1721.815	1283.0625	522.375	234
σ_x	11.384	420.970	2787.797	3075.511	1608.976	328.362	132.272
12	Анабаена sp.(сб)						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	4004	2772	1840	1308	0
range	0	0	4004	2772	1840	1308	0
$\bar{x}$	0	0	496.059	406.704	193.75	86.208	0
σ_x	0	0	995.847	569.362	460.533	273.903	0

13	Woronichinia naegeliana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	8000	22400	12200	1300	700
range	0	0	8000	22400	12200	1300	700
$\bar{x}$	0	0	729.412	1096.296	1568.75	283.75	260
σ_x	0	0	1973.184	4343.118	3065.446	327.358	357.771
14	Microcystis grevelii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	4	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	190	400	0	0
range	0	0	0	190	400	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	7.037	25	0	0
σ_x	0	0	0	36.565	100	0	0
15	Microcystis wesenbergii						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	0	0	0	7200	7200	60	0
range	0	0	0	7200	7200	60	0
$\bar{x}$	0	0	0	277.778	450	2.5	0
σ_x	0	0	0	1384.623	1800	12.247	0

16	Dinobryon divergens						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	140	274	530	84	0	422	0
range	140	274	530	84	0	422	0
$\bar{x}$	23.3	36.667	41.471	3.111	0	17.583	0
σ_x	46.524	90.91	128.644	16.166	0	86.140	0
17	Uroglena americana						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	24	960	1520	40	0	3840	0
range	24	960	1520	40	0	3840	0
$\bar{x}$	2.4	124.44	157.647	2.222	0	226.667	0
σ_x	7.589	317.77	431.386	8.473	0	813.483	0
18	Tribonema affine						
	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
n	10	9	17	27	16	24	5
min	0	0	0	0	0	0	0
max	30	12	272	436	272	116	8
range	30	12	272	436	272	116	8
$\bar{x}$	7	3.111	28.706	69.41	53.0625	33.833	1.6
σ_x	10.467	5.207	64.912	111.59	75.137	31.999	3.578

Таблица 3.4 - Статистические данные по фитопланктону для зоны 4 с глубинами [50; 70]

1	Aulacoseira islandica				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	90	192	7	0	32
range	90	192	7	0	32
$\bar{x}$	41.2	32.75	0.923	0	10.333
σ_x	41.799	61.303	2.290	0	12.209
2	A. italica				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	12	89	24	0	40
range	12	89	24	0	40
$\bar{x}$	2.4	8.75	3.384	0	9.667
σ_x	5.366	25.687	8.302	0	15.616
3	A. subarctica				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	1
max	19	48	11	40	27
range	19	48	11	40	26
$\bar{x}$	7	8.667	1.615	16	16.333
σ_x	9.644	15.263	3.595	21.166	10.013

4	Melosira binderana				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0
range	0	0	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	0	0
σ_x	0	0	0	0	0
5	Asterionella formosa				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	2	0	0	0	0
max	274	251	152	0	4
range	272	251	152	0	4
$\bar{x}$	146	48.83	27.308	0	1
σ_x	100.747	80.915	45.619	0	1.673
6	Tabellaria fenestrata				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	15	28	116	4
range	0	15	28	116	4
$\bar{x}$	0	1.583	4.385	40.667	1
σ_x	0	4.379	9.014	65.309	1.673

7	Fragilaria crotonensis				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	2	40	500	0	0
range	2	40	500	0	0
$\bar{x}$	0.4	3.33	94.231	0	0
σ_x	0.894	11.547	175.561	0	0
8	Fragilaria capucina				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0
range	0	0	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	0	0
σ_x	0	0	0	0	0
9	Cryptomonas sp				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	4	4	44	54	6
max	2488	1664	464	151	37
range	2484	1660	420	97	31
$\bar{x}$	814	433.667	255.615	96.333	18.333
σ_x	1133.794	562.212	146.448	49.662	11.827

10	Rhodomonas lacustris				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	96	112	64	100	20
max	2160	2760	1760	460	180
range	2064	2648	1696	360	160
$\bar{x}$	1147.2	986	637.077	246.667	61.667
σ_x	831.877	790.109	519.499	189.033	60.800
11	Aphanizonemon flos-aq				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	39	220	18
max	5364	2772	5760	2160	1620
range	5364	2772	5721	1940	1602
$\bar{x}$	2064.8	540.667	1416.308	969.333	813
σ_x	2803.142	791.047	1794.907	1042.584	540.53
12	Anabaena sp.(сб)				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	16	0
max	360	400	2772	156	8
range	360	400	2772	140	8
$\bar{x}$	72	50	495	67.333	2
σ_x	160.997	113.057	760.798	77.106	3.347

13	Woronichinia naegeliana				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	2000	0	3200	2400	600
range	2000	0	3200	2400	600
$\bar{x}$	400	0	507.692	800	266.667
σ_x	894.427	0	1034.780	1385.641	265.832
14	Microcystis grevelii				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	0
range	0	0	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0	0	0
σ_x	0	0	0	0	0
15	Microcystis wesenbergii				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	0	0	0	300
range	0	0	0	0	300
$\bar{x}$	0	0	0	0	50
σ_x	0	0	0	0	122.474

16	Dinobryon divergens				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	0	145	0	0	0
range	0	145	0	0	0
$\bar{x}$	0	21	0	0	0
σ_x	0	43.250	0	0	0
17	Uroglena americana				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	11
min	0	0	0	0	0
max	40	3900	120	0	20
range	40	3900	120	0	20
$\bar{x}$	8	433.33	15.385	0	3.273
σ_x	17.888	1115.358	34.789	0	7.336
18	Tribonema affine				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
n	5	12	13	3	6
min	0	0	0	0	0
max	80	80	284	26	0
range	80	80	284	26	0
$\bar{x}$	25.8	35.917	62	11.333	0
σ_x	35.471	31.956	101.791	13.317	0

Таблица 5 - Статистические данные по фитопланктону для зоны 5 с глубинами [70; 100] метров

1	Aulacoseira islandica		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	76	192	0
range	76	192	0
$\bar{x}$	33	52.5	0
σ_x	33.045	71.444	0
2	A. italica		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	89	120
range	0	89	120
$\bar{x}$	0	18.833	25.143
σ_x	0	35.239	43.922
3	A. subarctica		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	19	43	10
range	19	43	10
$\bar{x}$	10.75	13.667	2.571
σ_x	8.539	15.807	4.429

4	Melosira binderana		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	0	0
range	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0
σ_x	0	0	0
5	Asterionella formosa		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	2	0	0
max	190	251	302
range	188	251	302
$\bar{x}$	88.25	48	70.286
σ_x	98.848	99.660	115.910
6	Tabellaria fenestrata		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	1	4	78
range	1	4	78
$\bar{x}$	0.25	1.1667	15.571
σ_x	0.5	1.835	28.436

7	Fragilaria crotonensis		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	2	0	440
range	2	0	440
$\bar{x}$	0.5	0	72.429
σ_x	1	0	163.201
8	Fragilaria capucina		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	0	0
range	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0
σ_x	0	0	0
9	Cryptomonas sp.		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	4	3	148
max	1504	1564	464
range	1500	1561	316
$\bar{x}$	388.25	350.667	292
σ_x	744.027	602.501	98.529

10	Rhodomonas lacustris		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	64	120	160
max	1760	1940	1760
range	1696	1820	1600
$\bar{x}$	640	646.667	972.857
σ_x	792.067	720.074	557.456
11	Aphanizonemon flos-aq		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	5364	8800	5760
range	5364	8800	5760
$\bar{x}$	1341	1608.667	1866.714
σ_x	2682	3528.585	1979.868
12	Анабаена sp.(сб)		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	50	1664
range	0	50	1664
$\bar{x}$	0	8.333	446.286
σ_x	0	20.412	607.117

13	Woronichinia naegeliana		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	0	2000
range	0	0	2000
$\bar{x}$	0	0	285.714
σ_x	0	0	755.929
14	Microcystis grevelii		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	0	0
range	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0
σ_x	0	0	0
15	Microcystis wesenbergii		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	0	0
range	0	0	0
$\bar{x}$	0	0	0
σ_x	0	0	0

16	Dinobryon divergens		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	0	65	0
range	0	65	0
$\bar{x}$	0	14.667	0
σ_x	0	25.734	0
17	Uroglena americana		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	40	620	1300
range	40	620	1300
$\bar{x}$	10	116.667	307.143
σ_x	20	248.650	520.535
18	Tribonema affine		
	Июнь	Июль	Август
n	4	6	7
min	0	0	0
max	5	80	284
range	5	80	284
$\bar{x}$	1.75	19	56.714
σ_x	2.363	30.193	107.416

4. Результаты

По имеющимся данным были построены диаграммы сезонных изменений фитопланктона по средним содержаниям. Количественные единицы измерения фитопланктона – тысячи клеток на литр.

Весенний период. В мае активная вегетация водорослей отмечается лишь в мелководной области с диапазоном глубин 0-18 метров. Доминантами являются диатомовые водоросли видов *Aulacoseira islandica* и *Aulacoseira italica*, среднее содержание которых составляет 626,27 и 568,1 тыс.кл/л соответственно. Такое положение вещей характерно для начального развития вегетативного периода, когда температура воды колеблется в диапазоне 5-8°C. По мере прогревания водных толщ озера, наряду с диатомеями отмечается наличие криптофитовых водорослей вида *Rhodomonas lacustris*, содержание которых составляет 580 тыс.кл/л (рисунок 4.1).

В зоне 2 с диапазоном глубин 18-50 метров наблюдается снижение концентраций фитопланктона. Доминантными видами в рассматриваемой зоне остаются *Aulacoseira islandica* (диатомовые) и *Rhodomonas lacustris* (криптофитовые), содержание которых равно соответственно 259,9 и 324,4 тыс.кл/л. Изменение в фитопланктоне этого района представлено на рисунке 4.2.

В районе озерного уступа с глубинами 50-70 метров в весенний период содержание фитопланктона чрезвычайно мало, концентрация рассматриваемых видов колеблется от 0 до 69,9 тыс.кл/л. Максимальные показатели наблюдаются у диатомовых водорослей вида *Aulacoseira islandica* и криптофитовых водорослей вида *Rhodomonas lacustris* (69,9 и 63,6 тыс.кл./л соответственно).

В течение мая в глубоководной части озера фитопланктон чрезвычайно беден и представлен отдельными клетками диатомовых водорослей (*Aulacoseira islandica*, *A. italica*, *A. subarctica*).

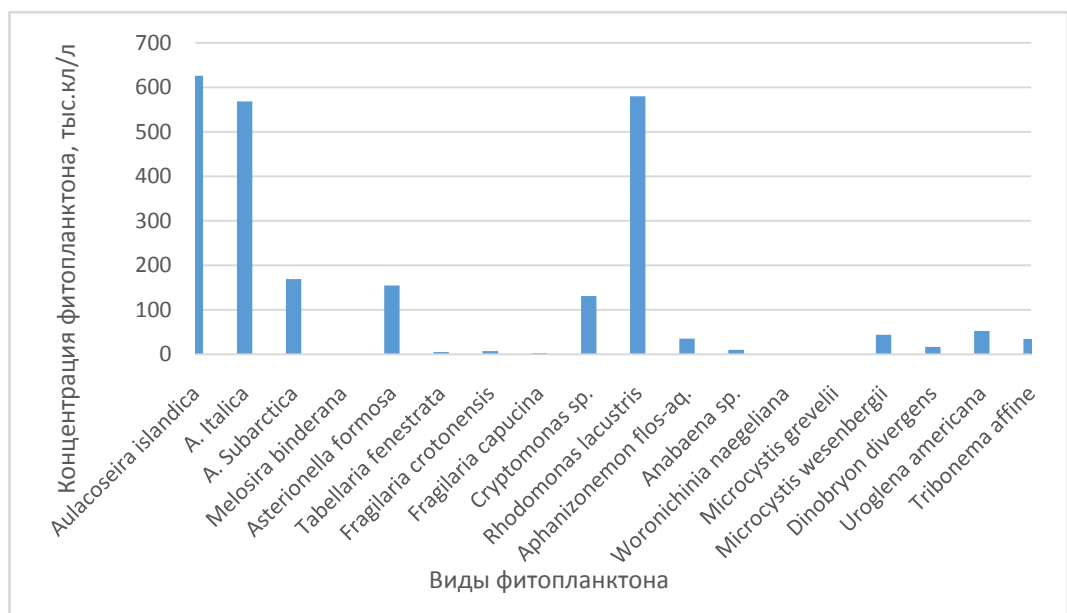


Рисунок 4.1 - Средние значения фитопланктона для мелководного района (зона 1) за весенний период

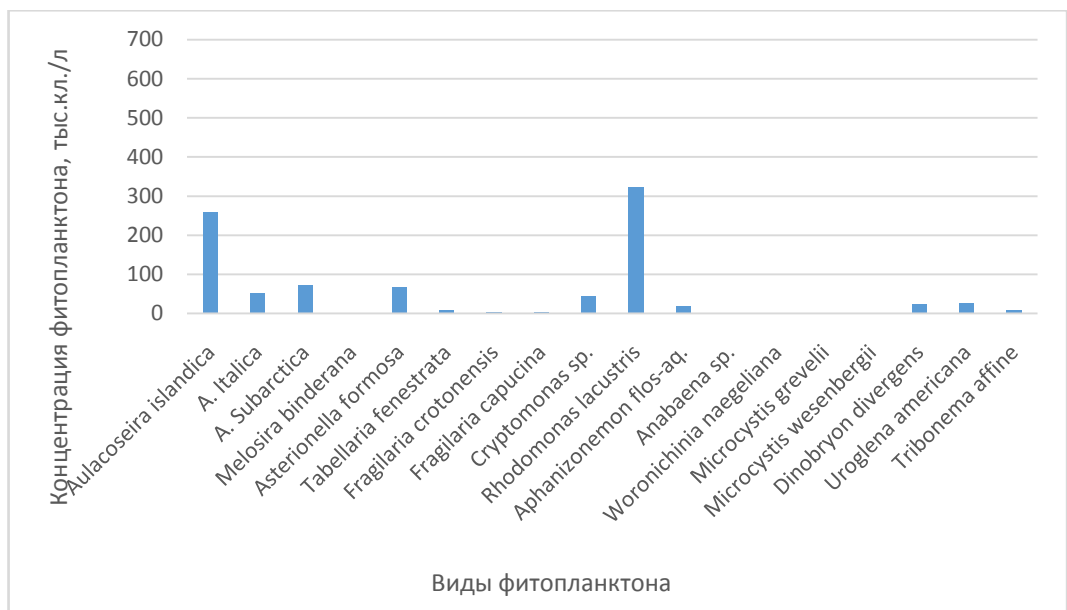


Рисунок 4.2 - Средние значения фитопланктона для переходного района (зона 2) за весенний период

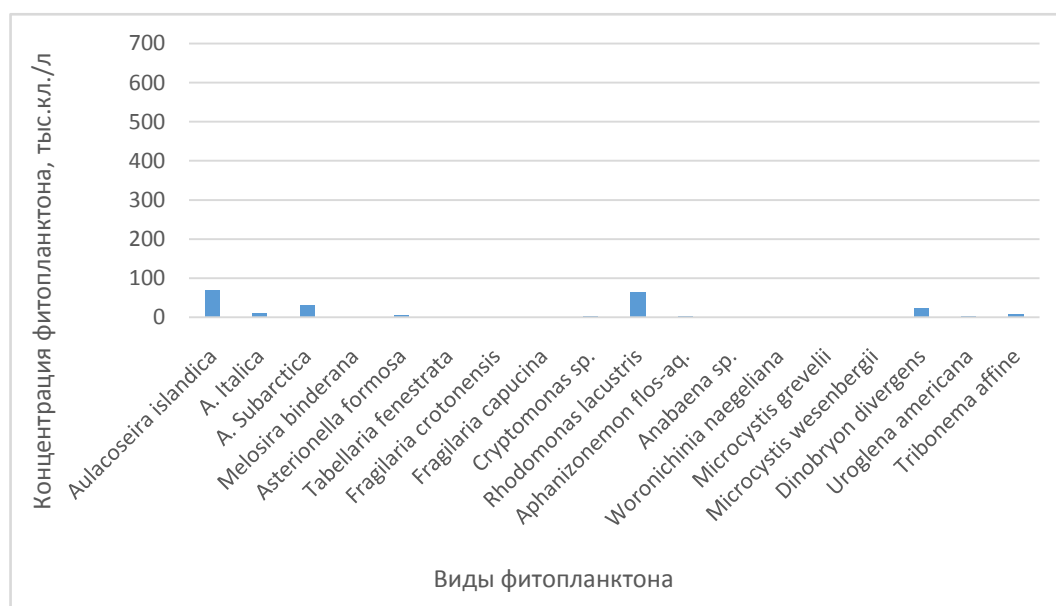


Рисунок 4.3 - Средние значения фитопланктона для района озерного уступа (зона 3) за май

На рисунке 4.4 представлен график изменения концентрации фитопланктона в зависимости от изменения глубин, т.е. от перехода от одной зоны к другой. Данный график наглядно представляет снижение содержаний фитопланктона доминирующих видов *Aulacoseira islandica* и *Rhodomonas lacustris* в весенний период при увеличении глубин.

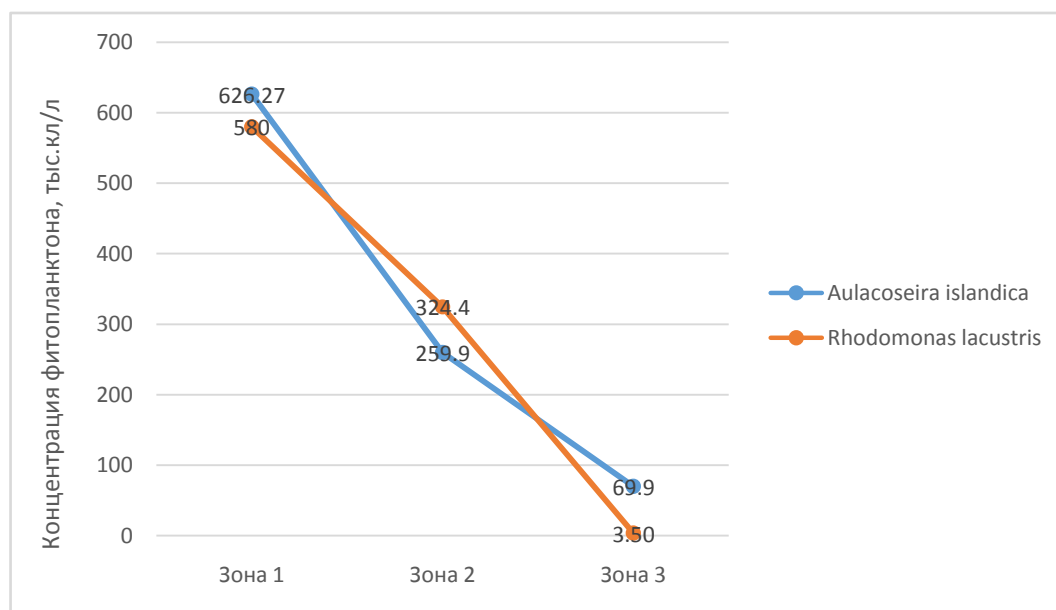


Рисунок 4.4 – График изменения по зонам концентраций доминирующих видов фитопланктона в течение мая;
глубина, м: зона 1 h= [0;18], зона 2 h= [18;50], зона 3 h= [50-70]

Летний период. При наступлении летнего сезона происходит выравнивание температуры поверхности воды по всей акватории водоема и формирование летней стратификации. К концу июня прогретая водная область занимает практически всю акваторию озера, кроме района максимальных глубин. Верхний слой с диапазоном глубин от 0 до 5 метров становится однородным и образует устойчивый эпилимнион. Это состояние длится с середины июля до конца августа с незначительными сдвигами в зависимости от климатических условий. В течение июля – августа разница между количественными показателями фитопланктона по акватории водоема сохраняется. Ведущим фактором в поверхностном распределении водорослей летом является уже не температура воды, как весной, а система постоянных, стоковых и ветровых течений, а также апвеллингов. Состав доминирующего комплекса водорослей по сравнению с весной меняется.

В структуре летней популяции фитопланктона в мелководной зоне с глубинами от 0 до 18 метров доминируют некоторые виды диатомовых, сине-зеленых и криптофитовых водорослей. При этом отмечается понижение концентраций диатомовых водорослей по сравнению с весенним периодом. На рисунке 4.5 представлена диаграмма изменения концентрации фитопланктона при переходе от весеннего периода к началу летнего. Наблюдается спад развития диатомовых водорослей видов *A. islandica* и *A. italica*. Концентрации фитопланктона указанных видов уменьшаются с 626,3 до 122,9 тыс. кл./л (*A. islandica*) и с 568,1 до 124,9 тыс. кл./л (*A. italica*). Также на диаграмме наглядно показано увеличение концентраций криптофитовых (*Rhodomonas lacustris*) и синезеленых (*Aphanizomenon flos-aq.*, *Anabaena* sp.) водорослей.

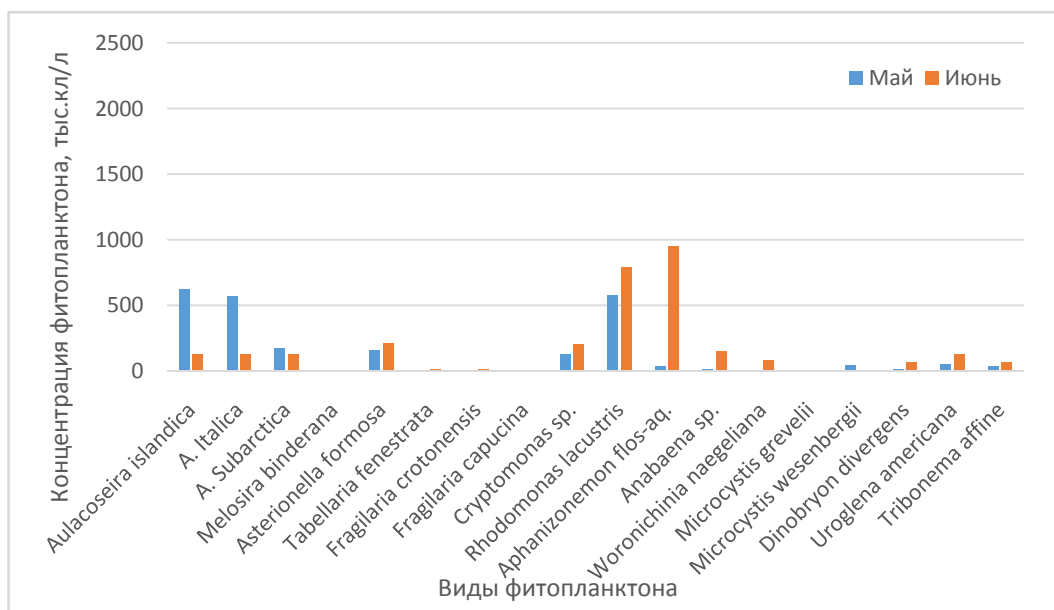


Рисунок 4.5 - Диаграмма смены видов в период окончания весеннего сезона и начала летнего для мелководного района; $h = [0;18]$ метров

В период с мая по июнь наблюдается переход от диатомовых (*Aulacoseira islandica*, *Asterionella formosa*) к криптофитовым (*Cryptomonas sp.*, *Rhodomonas lacustris*) и синезеленым (*Aphanizonemon flos-aq.*) водорослям. Для середины летнего периода увеличивается видовое разнообразие синезеленых водорослей. Июль-август характеризуется активным развитием синезеленых (*Aphanizonemon flos-aq.*, *Anabaena sp.*, *Woronichinia naegeliana*, *Microcystis grevelii* и *Microcystis wesenbergii*) водорослей, в то время, как концентрации криптофитов к этому периоду уменьшаются.

Доминантными видами в раннелетнее время отмечают *Rhodomonas lacustris* (криптофитовые) и *Aphanizonemon flos-aq* (синезеленые), концентрации которых соответственно равны 790,3 и 949,3 тыс.кл/л. В июле наблюдается незначительный спад развития данных видов. К концу летнего периода в мелководной зоне продолжает уменьшаться содержание криптофитовых водорослей. В то же время происходит интенсивное развитие видов синезеленых водорослей. Их содержание варьируется от 603 до 1243, 2 тыс.кл/л (рисунок 4.6).

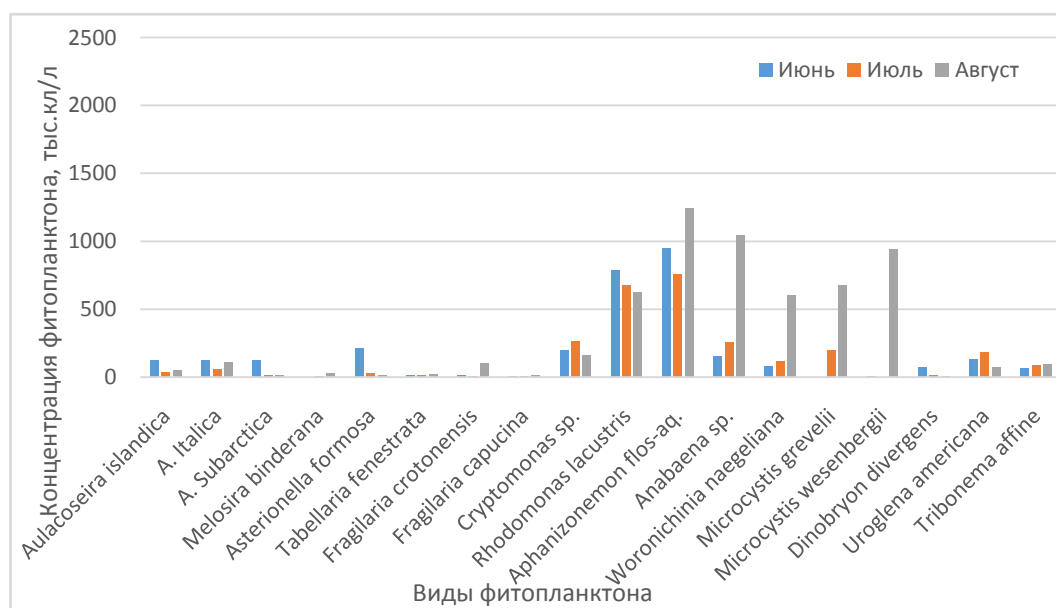


Рисунок 4.6 - Диаграмма развития фитопланктона в летний период в мелководном районе (зона 1); $h = [0;18]$ метров

Для переходного района (18-50 метров) также наблюдается видовая изменчивость. Переход от весеннего сезона к летнему гораздо менее выражен и характеризуется более низкими концентрациями фитопланктона. На рисунке 4.7 представлена диаграмма, на которой видно, что содержание ни одного из видов фитопланктона не достигает даже 500 тыс.кл/л.

В период с июня по июль наблюдается переход от диатомовых (*Aulacoseira islandica*) к криптофитовым (*Cryptomonas sp.*, *Rhodomonas lacustris*) и золотистым (*Uroglena americana*) водорослям, а в период июль-август наблюдается переход к синезеленым (*Aphanizonemon flos-aq.*, *Anabaena sp.*) водорослям. В ранний летний период доминантными являются виды криптофитовых водорослей *Rhodomonas lacustris* с концентрацией 402,5 тыс.кл/л. К середине летнего периода доминантным становится вид синезеленых водорослей *Aphanizonemon flos-aquae*, концентрация которых в июле достигает 969,1 тыс.кл/л и продолжает увеличиваться в августе до 1914 тыс.кл/л. Так же в июле наблюдается увеличение содержания золотистых водорослей *Uroglena americana*, концентрация которых равна 643,5 тыс.кл/л.

К концу летнего периода преобладающими являются синезеленые водоросли. Кроме *Aphanizonemon flos-aquae* наблюдаются *Anabaena sp.*,

Woronichinia naegeliana, *Microcystis grevelii* и *Microcystis wesenbergii* в гораздо меньших концентрациях.

Развитие фитопланктона в летний период в переходной зоне глубин показано на диаграмме на рисунке 4.8.

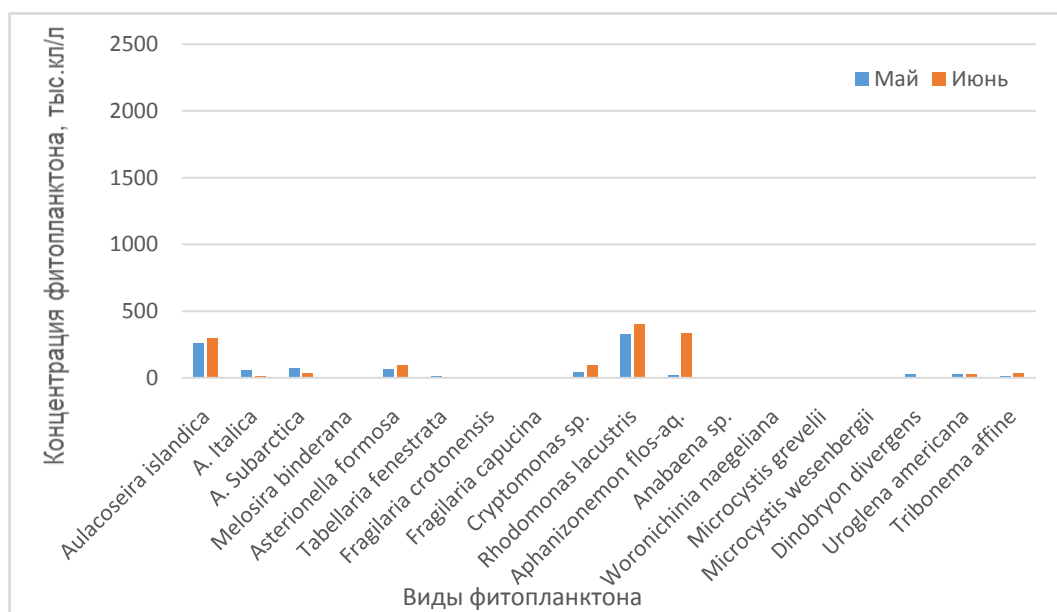


Рисунок 4.7 - Диаграмма смены видов в период окончания весеннего сезона и начала летнего для переходного района; $h=[18;50]$ метров

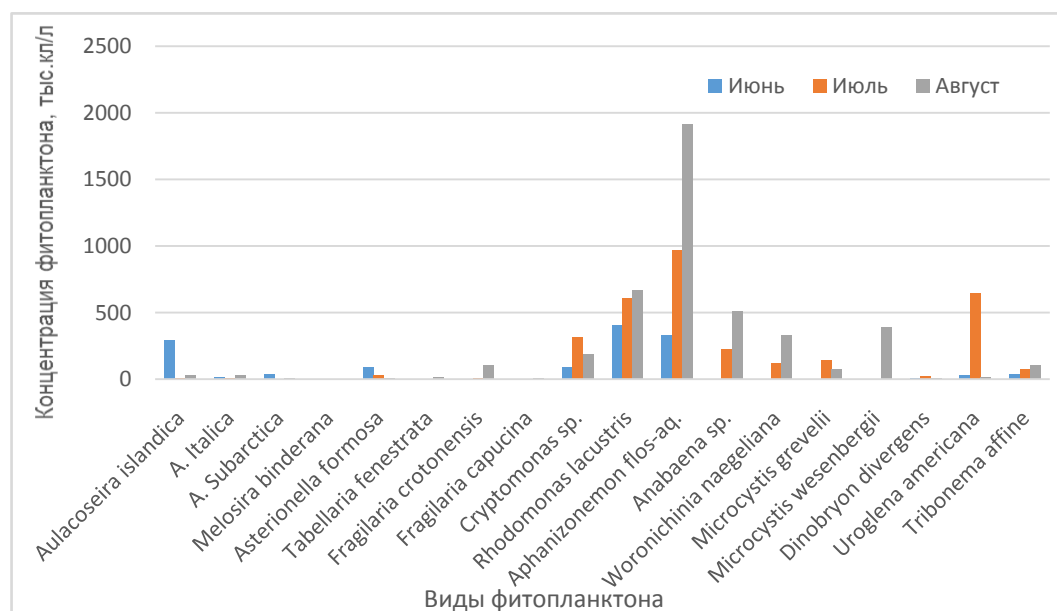


Рисунок 4.8 - Диаграмма развития фитопланктона в летний период в переходном районе (зона 2), $h = [18;50]$ метров

В районе с глубинами 50-70 метров (зона 3) наблюдается сезонная смена видов фитопланктона с количественным преобладанием криптофитовых водорослей в середине летнего периода. В августе наблюдается переход к синезеленым водорослям с преобладанием видов *Aphanizonemon flos-aquae* и *Woronichinia naegeliana*. Так же в августе наблюдаются виды *Anabaena* sp и *Microcystis wesenbergii*. Виды золотистых водорослей в конце летнего периода отсутствуют. Различие в содержании фитопланктона мелководной зоны заключается в сдвиге активного развития водорослей в летний период. Доминантным видом является *Rhodomonas lacustris* с концентрацией равной 2245,5 тыс. кл/л (рисунок 4.9).

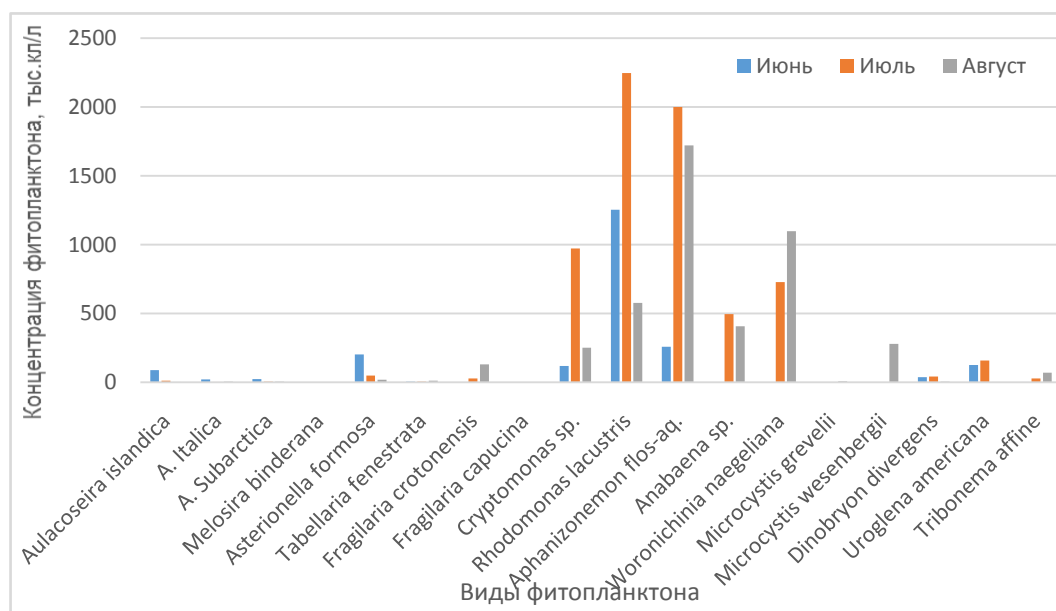


Рисунок 4.9 - Диаграмма развития фитопланктона в летний период в районе озерного уступа (зона 3), $h = [50; 70]$ метров

Склоновый район с диапазонами глубин 70-100 метров характеризуется высокими концентрациями фитопланктона в начале летнего периода. Преобладающими являются синезеленые водоросли вида *Aphanizonemon flos-aquae*, с концентрацией 2064,8 тыс.кл/л. В течение летнего сезона содержание фитопланктона снижается. Тоже самое наблюдается с видами криптофитовых водорослей *Rhodomonas lacustris* и *Cryptomonas* sp.

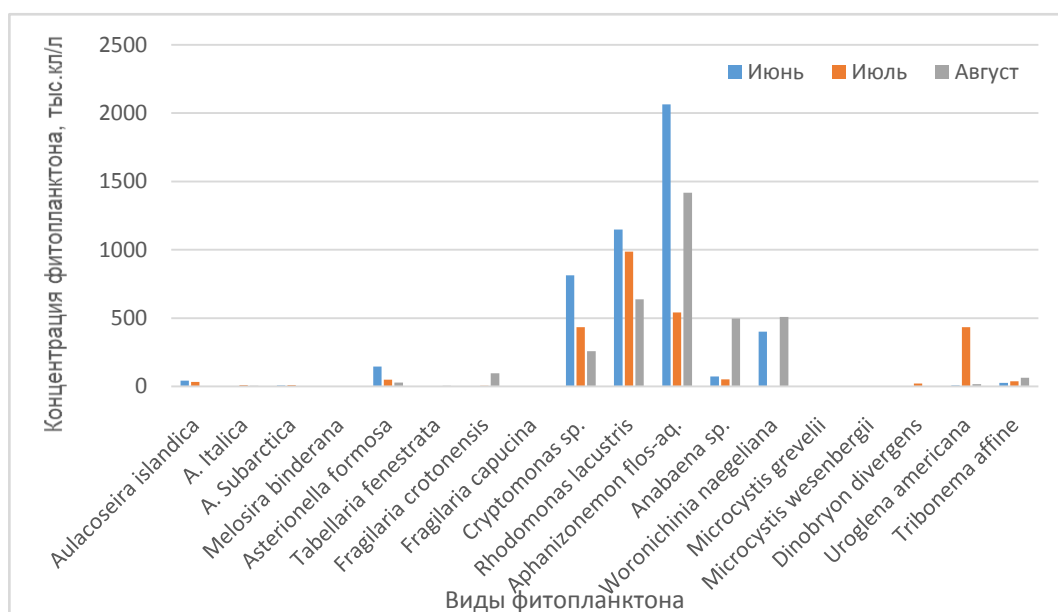


Рисунок 4.10 - Диаграмма развития фитопланктона в летний период в склоновом районе (зона 4), $h = [70; 100]$ метров

Глубоководный район с диапазоном глубин от 100 до 140 метров характеризуется наличием синезеленых водорослей, концентрация которых растет к концу летнего сезона. Содержание вида *Arhanizonemon flos-aquae* от начала к концу лета увеличивается с 1341 до 1866,7 тыс. кл/л.

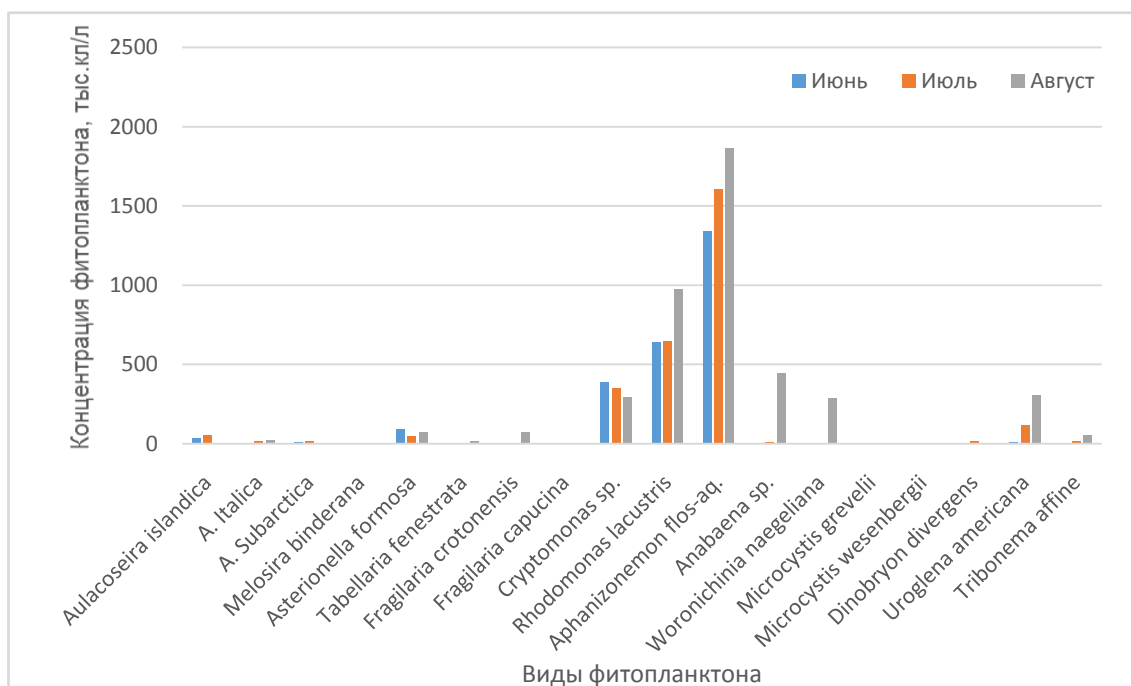


Рисунок 4.11 - Диаграмма развития фитопланктона в летний период в склоновом районе (зона 4), $h = [100; 140]$ метров

Осенний период. В сентябре происходит постепенное охлаждение воды, усиление ветровой активности, заглубление слоя эпилимниона и уменьшение солнечной инсоляции.

Для мелководной зоны (0-18 метров) в начале осеннего периода активно развиваются виды синезеленых водорослей. Концентрация *Aphanizonemon flos-aquae* в сентябре достигает 1610, 6 тыс. кл/л. Также наблюдаются виды *Anabaena* sp., *Woronichinia naegeliana*, и *Microcystis wesenbergii* с концентрациями 345,5, 883,8 и 515,7 соответственно. Следует, отметить, что при переходе от конца летнего сезона к началу осеннему концентрация наблюдается внутривидовая изменчивость синезеленых водорослей. Содержание вида *Aphanizonemon flos-aquae* уменьшилось, в то время как виды *Anabaena* sp., *Woronichinia naegeliana* стали более активно развиваться. Однако, к ноябрю концентрации фитопланктона, в том числе и синезеленых водорослей, значительно снижаются.

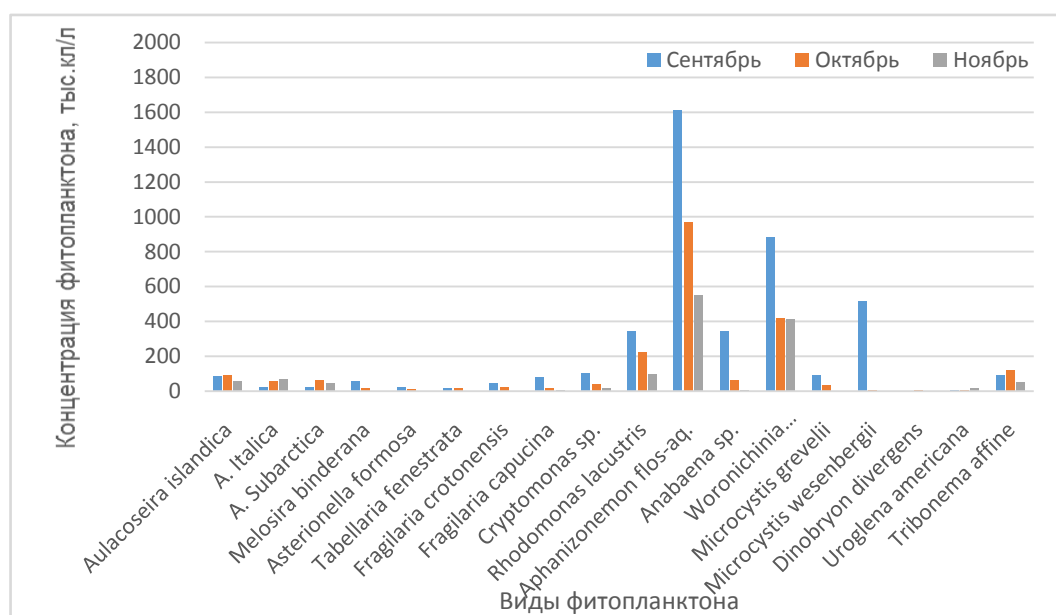


Рисунок 4.12 - Диаграмма развития фитопланктона в осенний период в мелководном районе (зона 1), h = [0; 18] метров

В переходном районе с глубинами 18-50 метров наблюдается та же ситуация, что и в мелководном районе. Концентрация *Aphanizonemon flos-aquae* в сентябре равна 1812, 6 тыс. кл/л, видов *Anabaena* sp., *Woronichinia*

naegeliana, и *Microcystis wesenbergii* с концентрациями 377,7, 490,9 и 800 тыс. кл/л. Развитие фитопланктона к концу осеннего периода в данной зоне сокращается. Наблюдается также присутствие криптофитовых водорослей вида

В зоне с глубинами от 50 до 70 метров в начале осени доминантами остаются синезеленые водоросли, представленные видами *Aphanizonemon flos-aquae* *Woronichinia naegeliana* в сентябре равна 1812, 6 тыс. кл/л, видов *Anabaena* sp., *Woronichinia naegeliana*, и *Microcystis wesenbergii*

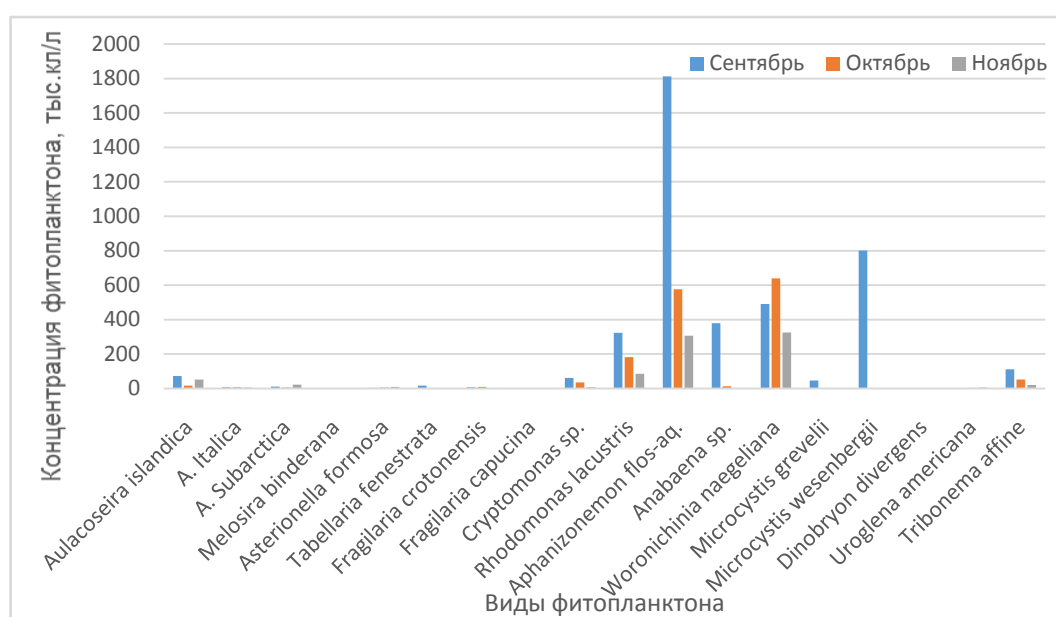


Рисунок 4.13 - Диаграмма развития фитопланктона в осенний период в переходном районе (зона 2), $h = [18; 50]$ метров

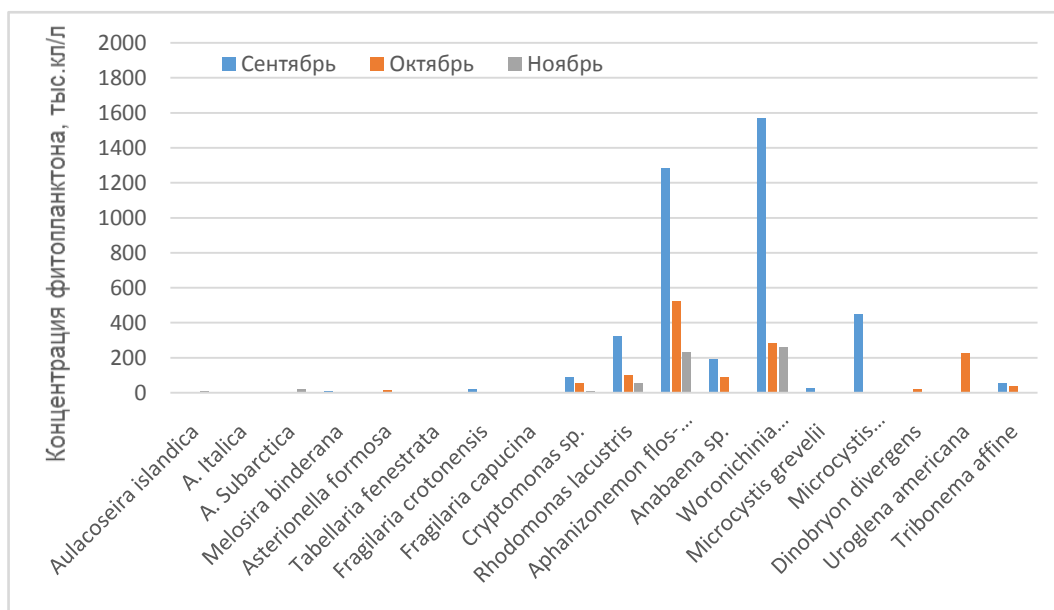


Рисунок 4.14 - Диаграмма развития фитопланктона в осенний период в районе озерного уступа (зона 3), $h = [50; 70]$ метров

Для более наглядного представления развития фитопланктона построены общие графики, иллюстрирующие временную изменчивость видов водорослей в воде отдельно для каждой зоны. В каждом лимническом районе были выделены активные и инертные виды фитопланктона.

Построенные графики подтверждают ранее отмеченные выводы о том, что на протяжении всего внутригодового периода времени наблюдается явление сукцессии видов фитопланктона, то есть их смена между сезонами.

За рассматриваемый многолетний период (1992-2013 гг) происходит смена от диатомовых водорослей с преобладанием вида

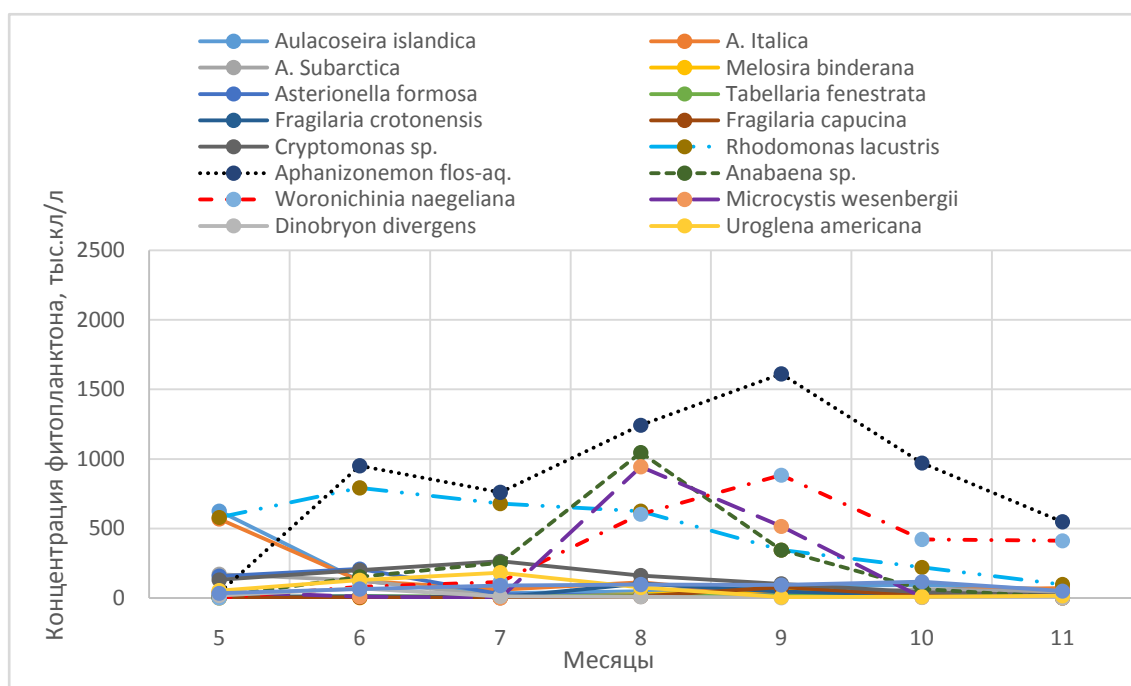


Рисунок 4.15 – График временной изменчивости видового состава фитопланктона в мелководном районе, $h = [0;18]$ м

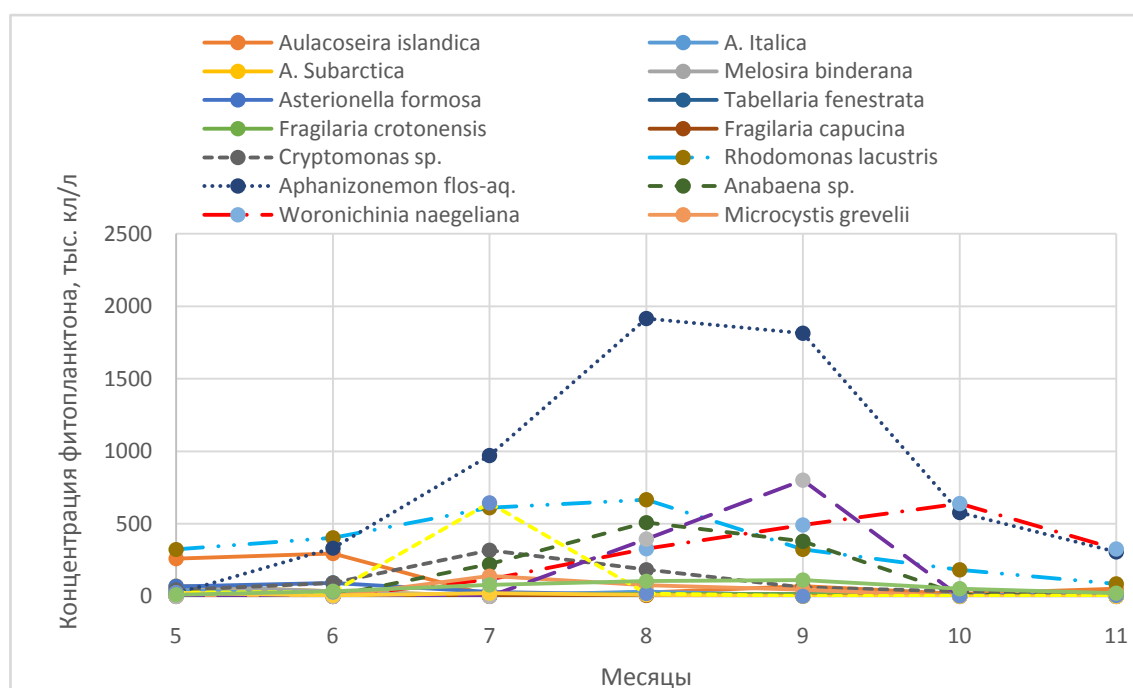


Рисунок 4.16 - График временной изменчивости видового состава фитопланктона в переходном районе, $h = [18;50]$ м

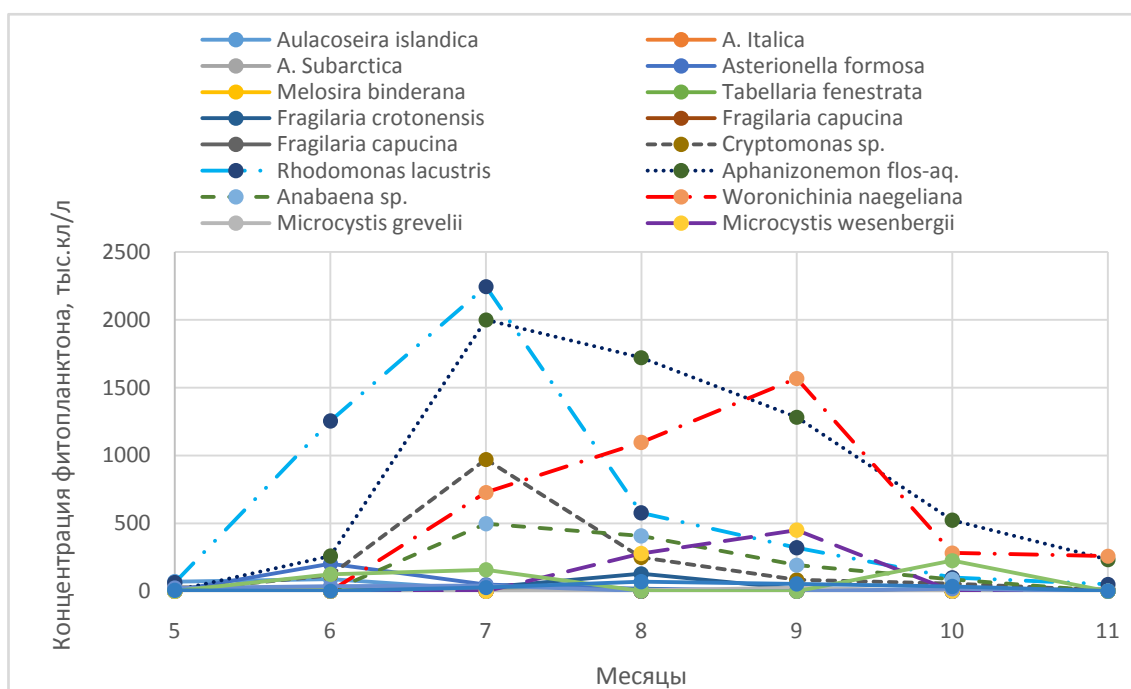


Рисунок 4.17 - График временной изменчивости видового состава фитопланктона в районе озерного уступа, $h = [50;70]$ м

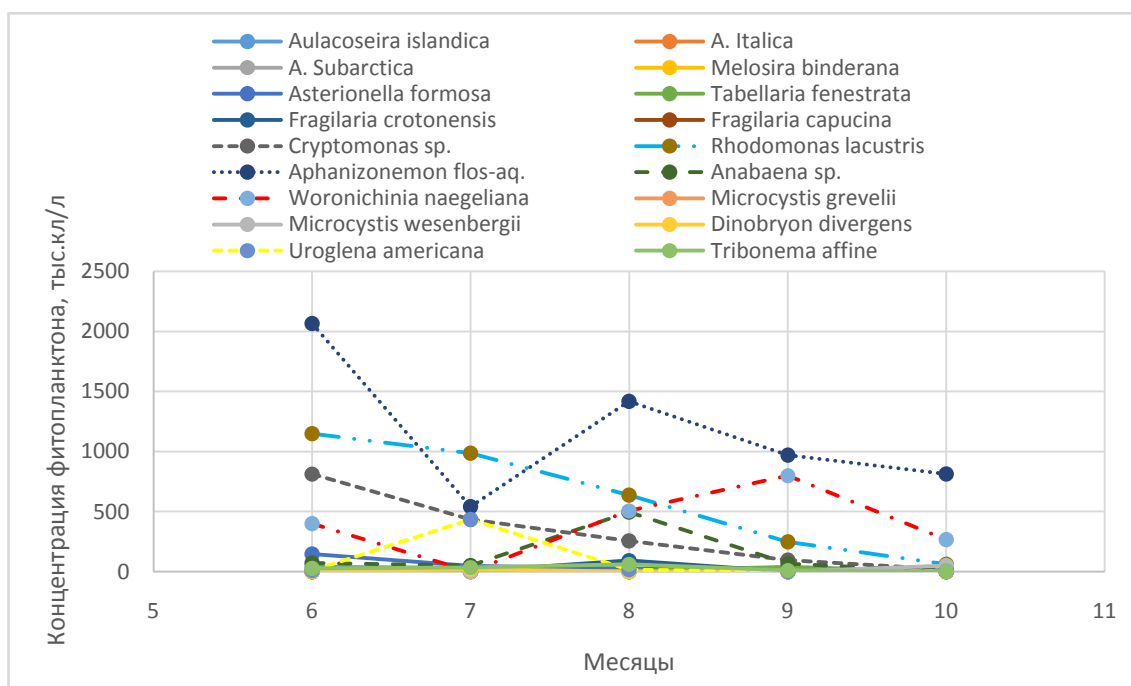


Рисунок 4.18 - График временной изменчивости видового состава фитопланктона в склоновом районе, $h = [70;100]$ м

Таблица 4.1 – Средние значения концентрации фитопланктона по месяцам для глубинных районов, [тыс.кл/л]

Виды фитопланктона	Месяцы						
Aulacoseira islandica	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	626,27	122,86	33,1	46,953	83,121	93,134	59,375
Зона 2	259,9	294,25	6,118	26,33	70,727	17,504	52,5
Зона 3	69,9	88,889	12,529	1,815	5,625	1,925	7,60
Зона 4		41,2	32,75	0,923	0	10,333	
Зона 5		33,0	52,5	0,0			
A. italica, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	568,1	124,83	60,4	112,4	21,027	57,266	70,375
Зона 2	52,8	14	5,235	31,44	6,545	6,917	6,50
Зона 3	10,90	21,889	1,763	4,852	1,25	1,346	0
Зона 4		2,40	8,75	3,384	0	9,667	
Зона 5		0	18,833	25,14			
A. subarctica, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	169,407	125,55	11,94	14,283	21,027	63,801	41,625
Зона 2	72,9	34	3,353	9,911	10,318	6,418	22,75
Зона 3	31,9	22,556	5,412	3,63	1,75	5,31	17,60
Зона 4		7	8,7	1,615	16	16,333	
Зона 5		10,75	13,7	2,571			
Melosira binderana, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	0,222	0,965	6,45	27,27	56,351	15,69	0
Зона 2	568,1	124,83	60,4	112,4	21,027	57,266	70,375
Зона 3	52,8	14	5,235	31,44	6,545	6,917	6,50
Зона 4		0	0	0	0	0	
Зона 5		0	0	0			
Asterionella formosa, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	155,185	209,72	26,32	15,49	19,838	11,133	1,586
Зона 2	67,5	91,25	30,765	11,13	2	5,083	8,50
Зона 3	5,40	201,56	49,706	17,52	4,625	13,654	2
Зона 4		146	48,83	27,308	0	1	
Зона 5		88,25	48	70,286			
Tabellaria fenestrata, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	5,037	13,827	9,22	18,679	17,54	18,533	1,50
Зона 2	9,70	0	3,412	17,289	15,545	1,083	2,75
Зона 3	0	5,667	5	11,7	1,125	4,192	1,20
Зона 4		0	1,583	4,4	40,667	1	0
Зона 5		0,25	1,17	15,6			
Fragilaria crotonensis, тыс.кл./л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	7,555	10	3,74	103	45,865	23,467	2,625
Зона 2	2,80	0	8,118	101,5	7,136	10,083	0
Зона 3	0	0	28,53	130	18,437	0,461	0
Зона 4		0,4	3,33	94,23			
Зона 5		0,5	0	72,43			

Fragilaria capucina, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	3,148	4,138	1,74	10,934	78,65	16,778	7,50
Зона 2	4	0	0	5,333	0,909	0,0012	0
Зона 3	0	0	0,588	0	0	0,001	0
Зона 4		0	0	0	0	0	
Зона 5		0	0	0			
Cryptomonas sp., тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 2	131,296	200,55	265,22	160,29	101,11	40,545	17,50
Зона 3	43,5	91,5	316,65	185,2	61,318	35,545	8
Зона 4	3,50	118,11	972,35	249,88	85,375	55,25	6,80
Зона 5		814	433,7	255,61	96,333	18,333	
Зона 1		388,25	350,7	292			
Rhodomonas lacustris, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	580	790,34	677,44	623,4	345,51	221,23	95
Зона 2	324,4	402,5	609,41	664,5	322,73	182,18	85
Зона 3	3,50	118	972,35	249,9	85,375	55,25	6,80
Зона 4		1147,2	986	637,1	246,7	61,667	
Зона 5		640	646,7	972,86			
Aphanizonemon flos-aq., тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	35,333	949,28	757,98	1243,2	1610,594	971,36	546,75
Зона 2	18	333	969,12	1914	1812,6	576,91	306
Зона 3	3,60	259,11	2000,1	1721,8	1283,1	522,37	234
Зона 4		2064,8	540,7	1416,3	969,3	813	
Зона 5		1341	1608,7	1866,7			
Anabaena sp.(сборная), тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	10,37	150,34	252	1043,6	345,5	64,5	5
Зона 2	0	4	222,88	509,42	377,8	12,091	0
Зона 3	0	0	496,06	406,7	193,75	86,208	0
Зона 4		72	50	495	67,33	2	
Зона 5		0	8,333	446,29			
Woronichinia naegeliana, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	0	81,034	115,6	602,96	883,78	420,23	412,5
Зона 2	0	0	115,6	328,33	490,91	639,09	325
Зона 3	0	0	729,41	1096,3	1568,7	283,75	260
Зона 4		400	0	507,69	800	266,7	
Зона 5		0	0	285,71			
Microcystis grevelii, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	0	0	201,4	677,64	89,189	30,909	0
Зона 2	0	0	141,18	77,33	45,454	0	0
Зона 3	0	0	0	7,037	25	0	0
Зона 4		0	0	0	0	0	
Зона 5		0	0	0			

Microcystis wessenbergii,	5	6	7	8	9	10	11
----------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------

тыс.кл/л							
Зона 1	44,44	7,586	0	942,64	515,676	4,545	0
Зона 2	0	0	0	393,33	800	0	0
Зона 3	0	0	0	277,8	450	2,50	0
Зона 4		0	0	0	0	50	
Зона 5		0	0	0			
Dinobryon divergens, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	16,741	67,69	11,60	7,906	2,54	4,932	0
Зона 2	23,50	5	20,647	10,267	0	0	0
Зона 3	23,30	36,667	41,471	3,111	0	17,583	0
Зона 4		0	21	0	0	0	
Зона 5		0	14,667	0			
Uroglena americana, тыс. кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	52,592	128,96	181,60	75,849	7,243	8,182	15
Зона 2	25,60	30	643,53	18,222	1,818	3,273	5
Зона 3	2,40	124,44	157,65	2,222	0	226,7	0
Зона 4		8	433,33	15,385	0	3,273	
Зона 5		10	116, 7	307,14			
Tribonema affine, тыс.кл/л	5	6	7	8	9	10	11
Зона 1	34,444	63,931	88,32	95,387	94,297	117,77	50,875
Зона 2	9,20	33,75	77,823	105,62	110,909	51,364	20,25
Зона 3	7	3,111	28,706	69,41	53,0625	33,833	1,60
Зона 4		25,80	35,917	62	11,333	0	
Зона 5		1,75	19	56,714			

Массовые виды водорослей Ладожского озера принадлежат к трем отделам: синезеленые (Cyanophyta), диатомовые (Bacillariophyta) и криптофитовые (Cryptophyta).

Диатомовые водоросли. В период весенней фазы абсолютное доминирование в фитопланктоне принадлежит виду диатомовых водорослей *Aulacoseira islándica*. Его концентрация составляет 626,3 тыс.кл/л.

Вид теневынослив, холодолюбив. Температурный оптимум его лежит в пределах 5-10 °С. Развивается в период весенней и осенней гомотермии, когда активное перемешивание водных масс способствует поддержанию тяжелых клеток водорослей в водной толще [14].

Как уже было отмечено, доминантными видами в весенний период являются виды *Aulocesera islandica* и *A. italica*.

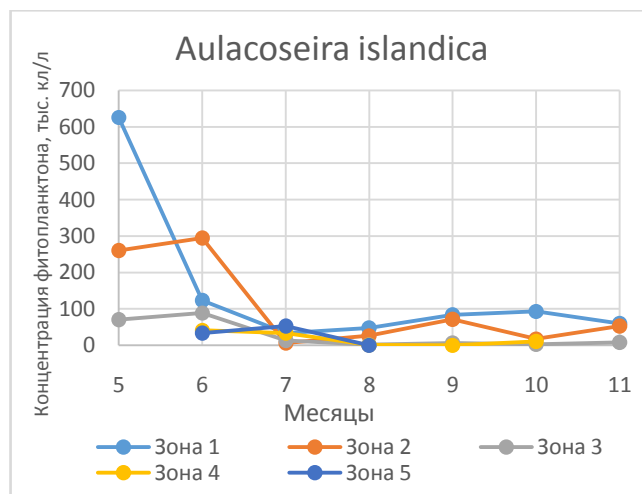


Рисунок 4.19 – Сезонное развитие фитопланктона вида *Aulocoseira islandica* для всех лимнических зон

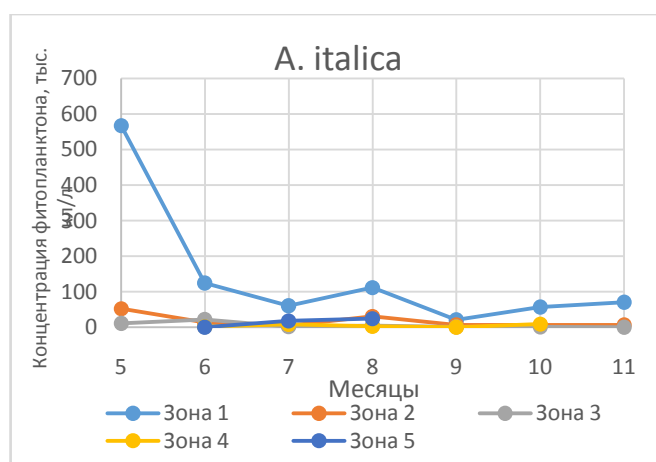


Рисунок 4.20 – Сезонное развитие фитопланктона вида *A. italica* для всех лимнических зон

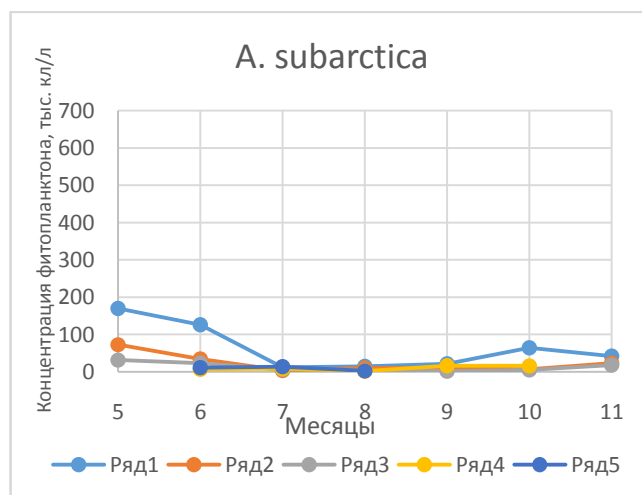


Рисунок 4.21 – Сезонное развитие фитопланктона вида *A. subarctica* для всех лимнических зон

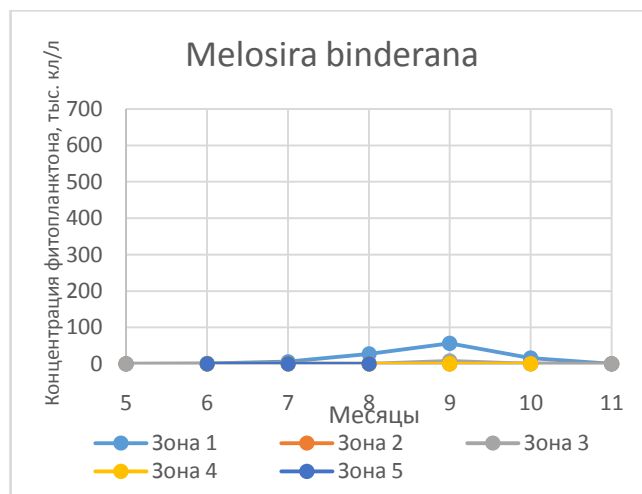


Рисунок 4.22 – Сезонное развитие фитопланктона вида *Melosira binderana* для всех лимнических зон

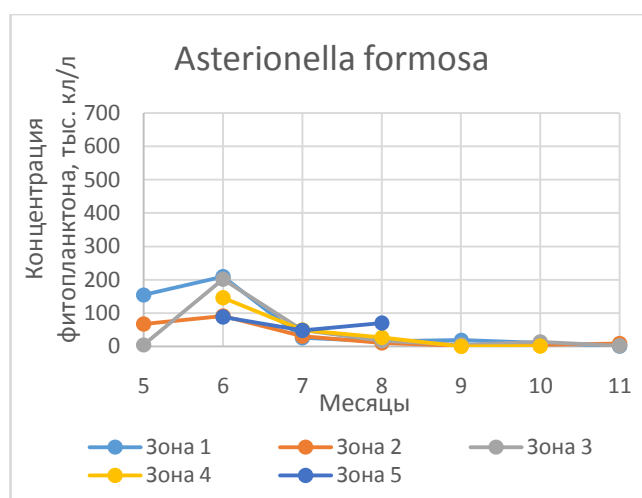


Рисунок 4.23 – Сезонное развитие фитопланктона вида *Asterionella formosa* для всех лимнических зон

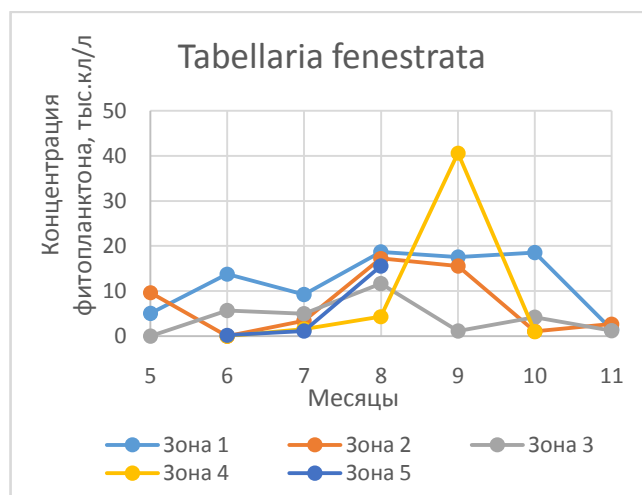


Рисунок 4.24 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Tabellaria fenestrata* для всех лимнических зон

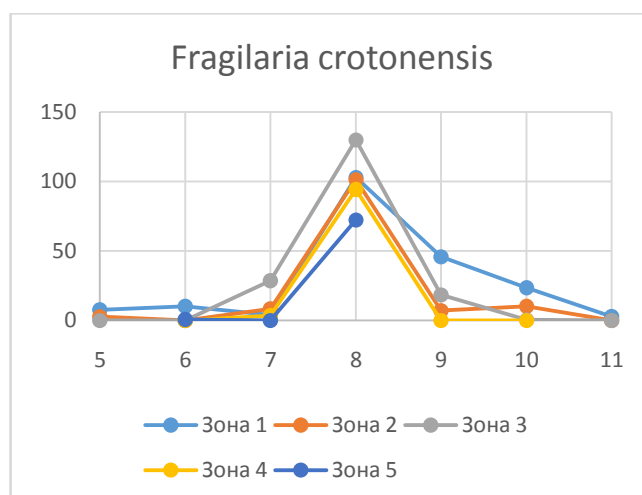


Рисунок 4.25 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Fragilaria crotonensis* для всех лимнических зон

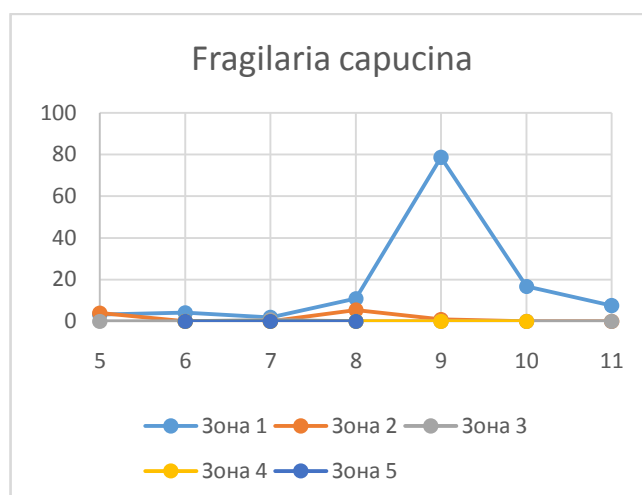


Рисунок 4.26 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Fragilaria capucina* для всех лимнических зон

В структуре современного летнего фитопланктона доминируют водоросли двух отделов: синезеленые (Cyanophyta) и криптофитовые (Cryptophyta).

Криптофитовые водоросли представлены двумя основными видами *Cryptomonas* sp. и *Rhodomonas lacustris*.

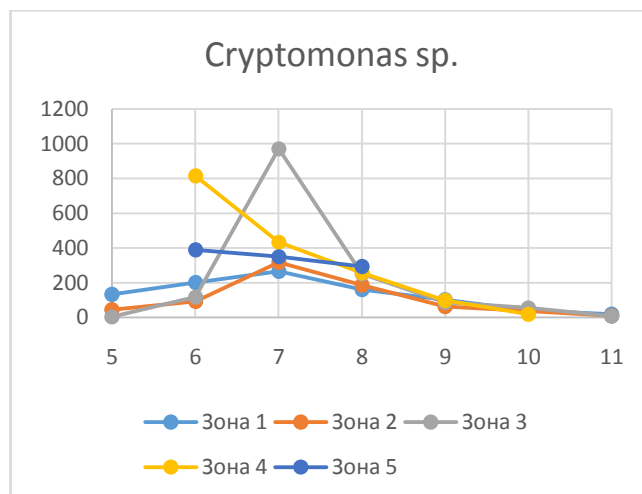


Рисунок 4.27 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Cryptomonas sp.* для всех лимнических зон

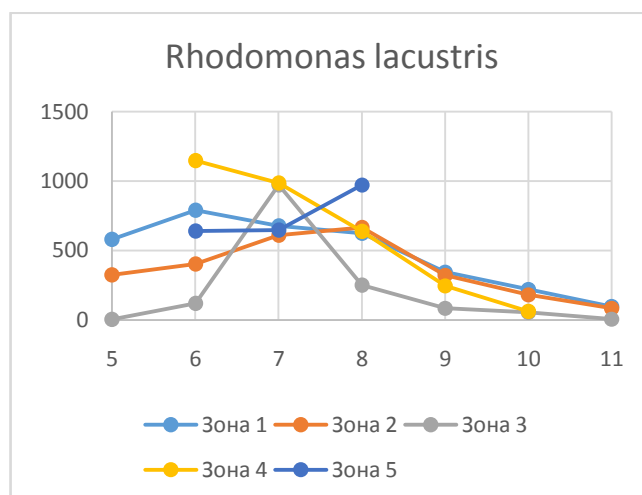


Рисунок 4.28 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Rhodomonas lacustris* для всех лимнических зон

Синезеленые водоросли. Среди синезеленых преобладает летне-осенний вид Ладожского озера *Aphanizomenon flos - aquae*. В конце биологического лета он абсолютный доминант на всей акватории водоема. Отмеченные также виды синезеленых водорослей, отмеченных в разных глубинных зонах *Anabaena sp.*, *Woronichinia naegeliana*, *Microcystis grevelii* и *Microcystis wesenbergii*, возможно, являются содоминантами вида *Aphanizomenon flos – aquae*. Кроме того, содоминантным может также являться вид золотистых водорослей *Uroglena americana*.

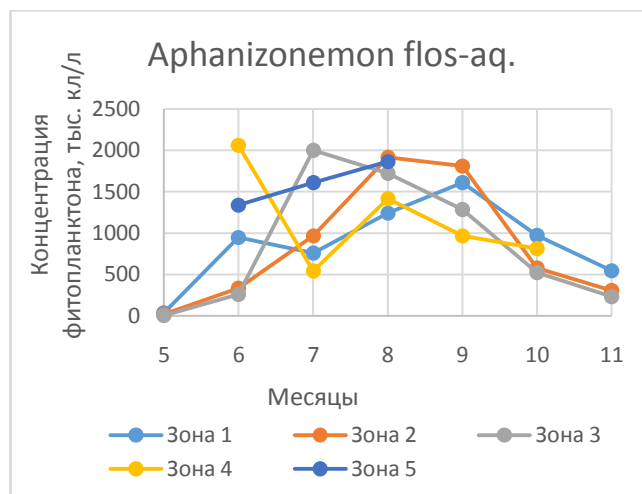


Рисунок 4.29 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Aphanizonemon flos-aq.* для всех лимнических зон

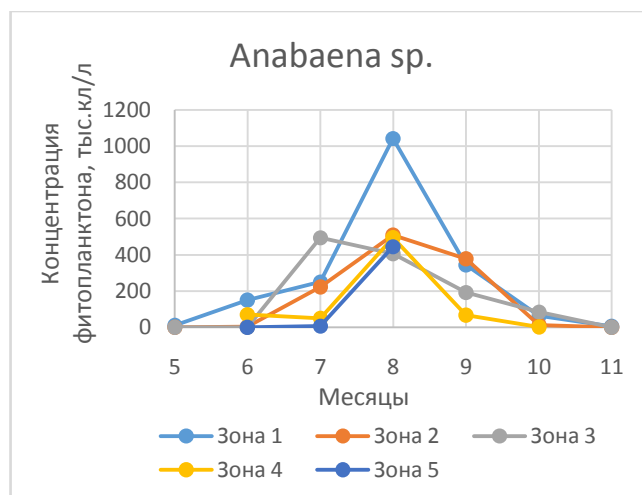


Рисунок 4.30 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Anabaena sp.* для всех лимнических зон

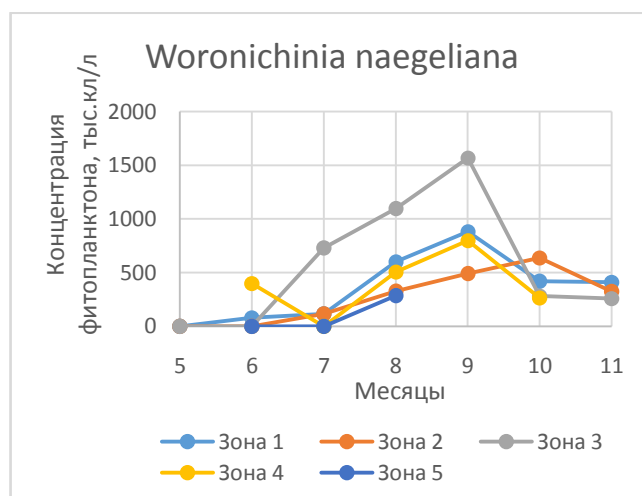


Рисунок 4.31 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Woronichinia naegeliana* для всех лимнических зон

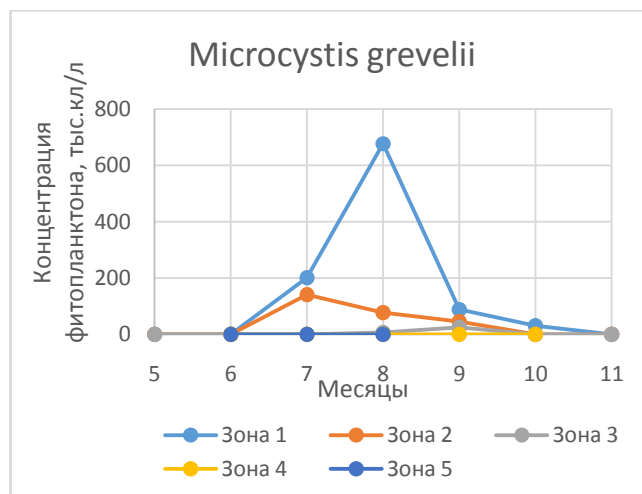


Рисунок 4.32 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Microcystis grevelii* для всех лимнических зон

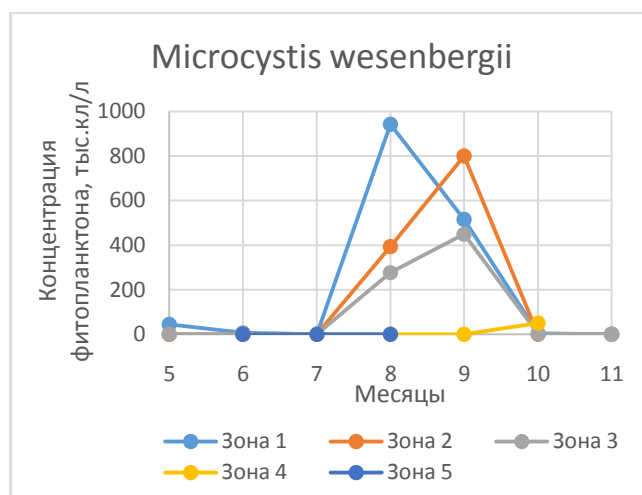


Рисунок 4.33 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Microcystis wesenbergii* для всех лимнических зон

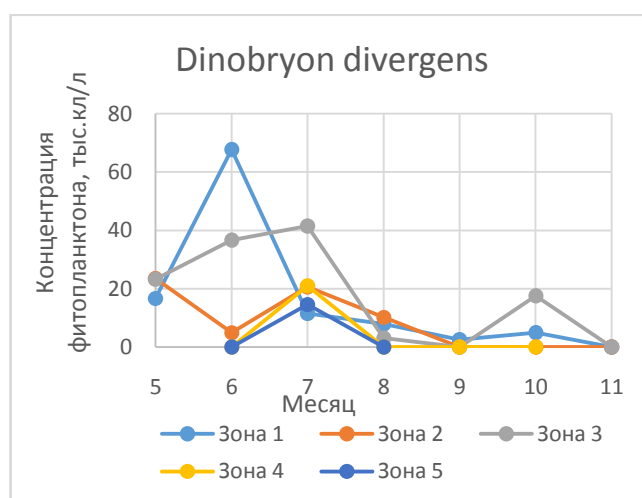


Рисунок 4.34 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Dinobryon divergens* для всех лимнических зон

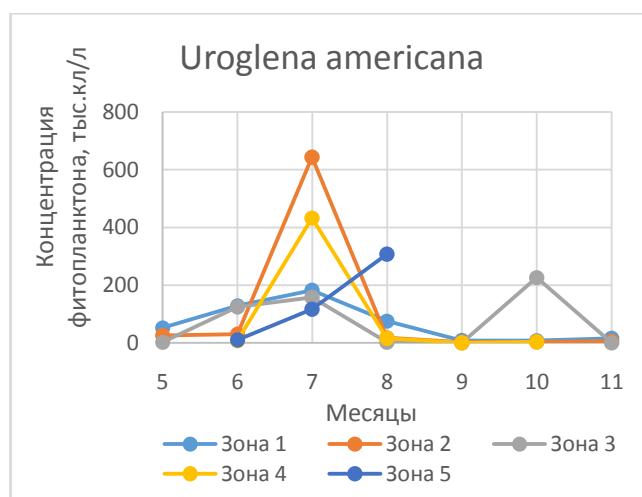


Рисунок 4.35 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Uroglena americana* для всех лимнических зон

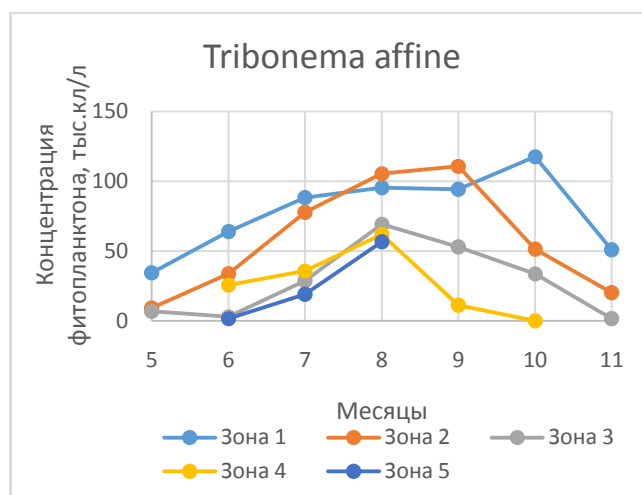


Рисунок 4.36 - Сезонное развитие фитопланктона вида *Tribonema affine* для всех лимнических зон

Следующим шагом в ходе данной работы было установить зависимости между прозрачностью воды Ладожского озера и биомассой фитопланктона в нем, а также с концентрацией общей взвеси.

Для выявления связей между прозрачностью воды Ладожского озера и содержаниями биомассы были построены зависимости на основании парных корреляций: 1) $D=f(B)$; 2) $D=f(OB)$, где D – видимость белого диска Секки (м), B – биомасса (мг/л), OB – общая взвесь (г/м³). Графики зависимостей представлены на рисунках.

Используемые для построения данные представленные в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные для построения зависимостей прозрачности (видимости диска Секки) от биомассы и мутности (общей взвеси)

Видимость белого диска , м	Биомасса, мг/л	Общая взвесь, г/м³
1,5		
1,5	1,57	14
1,5	1,83	5,6
1,3	1,05	9,2
0,9	1,5	9,4
2,2	2,87	13,3
2,2	1,46	9,8
2,2	2,07	
2,8	1	2,8
1,9	2,43	7,8
2	1,55	2,8
2	1,9	7,4
2,2	1	2,9
2,2	1,57	
1,7	6,59	7,7
2,5		2
2,5	0,77	3,7
1,9	1,98	3,9
2,8	1,2	1,8
1,1	1,51	6,2
2,7	1,26	2,8
2,7	1,59	
2,5		2
2,3	1,17	1,8
2,3	1,9	4,5
1,8	2,18	6,3
2,5	1,2	1,6
2,5	1,62	2,7
2,5	1,43	

Продолжение таблицы 4.2 – Исходные данные для построения зависимостей прозрачности (видимости диска Секки) от биомассы и мутности (общей взвеси).

Видимость белого диска , м	Биомасса, мг/л	Общая взвесь, г/м³
1	4,1	11
1,4	1,59	5,8
1	1,27	5,7
1	1,41	
2,2	1,2	2,7
2	1,75	2,6
2	1	
1,8	1,26	4,4
1,8	1,04	
2,3	0,32	1,5
2,3	1,86	7
2,9	0,8	1,1
3,5	0,26	1
3	1,05	2,8
3	1,62	4,4
2,3	0,42	
2,7		2,2
2,5	1,79	1,7
2,5	0,57	0,9
2,3	0,93	2,2
2,8	0,88	2,6
3,2	1,48	1,5
3,2	0,28	1,1
1,3	4,55	6,5
2,9	1,05	0,8
3	0,32	1
3,8	0,77	1,5
3,8	0,99	4,3
	0,49	
2,6		2,6
2,5	1,92	2,3
2	2,98	4,9
1,9	2,44	
2,6		2

Продолжение таблицы - 4.2 – Исходные данные для построения зависимостей прозрачности (видимости диска Секки) от биомассы и мутности (общей взвеси).

Видимость белого диска , м	Биомасса, мг/л	Общая взвесь, г/м³
2,6	2,2	2,9
2,6	0,14	0,7
2,6	0,45	1
3,2	0,39	1,2
4,2	0,43	2,1
4,2	1,58	4,7
3,5	0,4	1,1
2,5		2,9
4,3	0,17	0,8
5,3	0,08	1,2
5,3	0,162	
2,3		4,6
2,7	2,5	2,4
2,7	0,19	1,1
2,7	0,08	0,8
2,1	0,97	2
3,5	0,34	0,9
5,2	0,06	1,8
5,2	2,04	
2,5	4,5	3,4
4,5	0,22	1,2
2,5	1,02	2,2
2,5	1,75	3,2
3	0,81	1,8
2,9	0,79	1,1
3,5	0,46	2
4	0,29	0,8
	0,91	2
	0,67	

На рисунке 4.37 показана регрессионная зависимость видимости белого диска Секки (прозрачности) от биомассы. Коэффициент детерминации D_1 равен 0,33. Следовательно вариация (дисперсия) прозрачности воды лишь на 33% зависит от биомассы, а на 77% - от иных факторов.

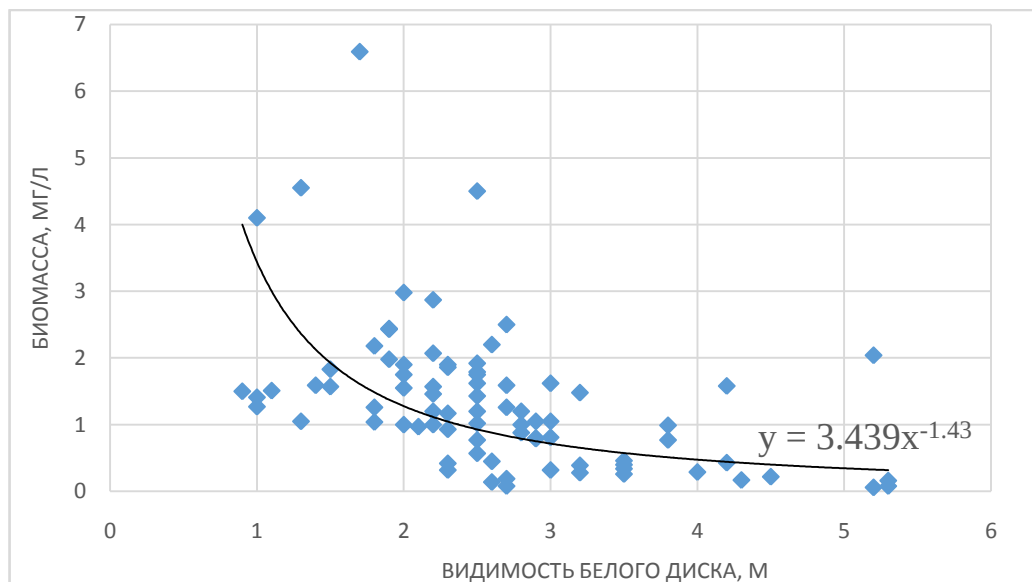


Рисунок 4.37 –График нелинейной зависимости прозрачности от биомассы

Рисунок 4.38 также показывает регрессионную зависимость прозрачности воды Ладожского озера от общей взвеси. Коэффициент детерминации D_2 равен 0,47. Таким образом, в данном случае дисперсия прозрачности воды зависит от общей взвеси на 47% и на 53% – от других факторов.

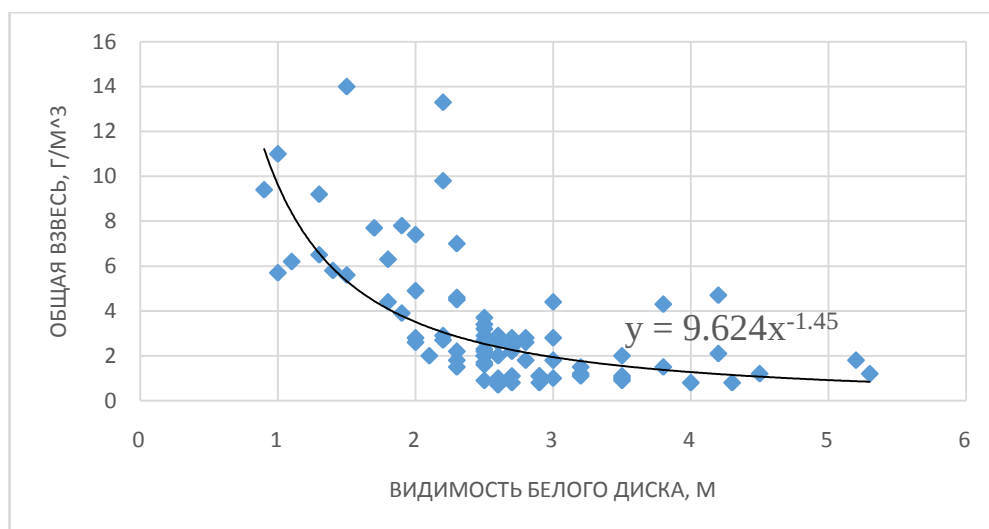


Рисунок 4.38 – График нелинейной зависимости прозрачности от общей
ВЗВЕСИ

Так же была проанализирована зависимость прозрачности воды от содержания биомассы по лимническим зонам. Аналогичный анализ зависимости прозрачности от содержания общей взвеси автору показался не целесообразным, так как для каждой лимнической зоны длина ряда не превышала трех значений.

Для мелководного района количество членов ряда составило 32 ($n=32$). График зависимости представлен на рисунке. Коэффициент детерминации составил 0,01 (1%), что говорит об отсутствии связи между прозрачностью и биомассой в данном районе.

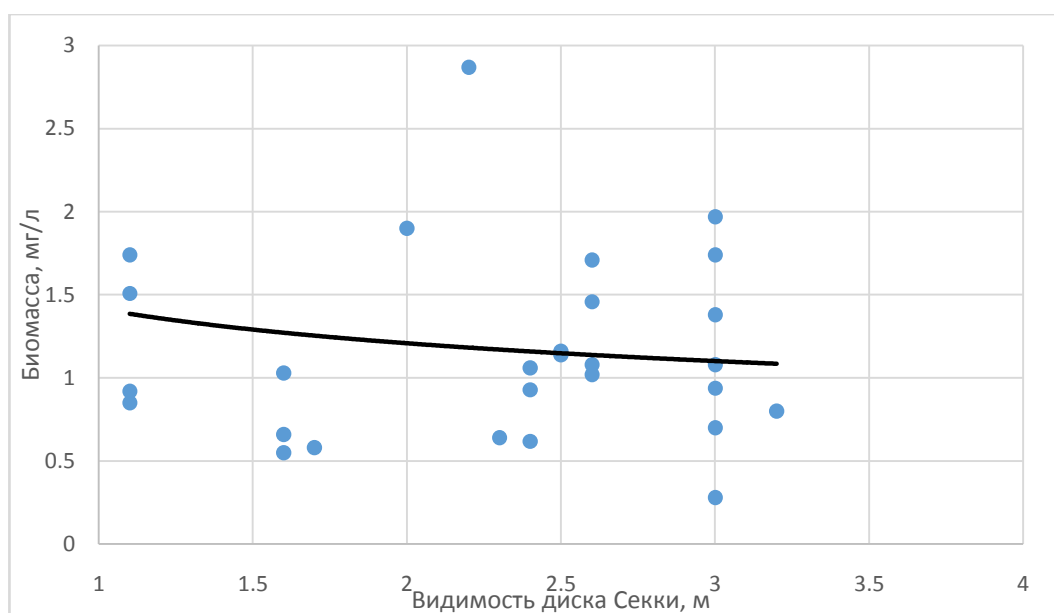


Рисунок 4.39 – График зависимости прозрачности воды от содержания биомассы для мелководного района (зона 1), $[h=0;18]$

Длина ряда для переходного района n равна 14. График зависимости прозрачности от биомассы представлен на рисунке. Коэффициент детерминации для переходной зоны глубин равен 0,02, следовательно, связь между прозрачностью и содержанием биомассы отсутствует, вариативность видимости диска Секки зависит от биомассы лишь на 2%.

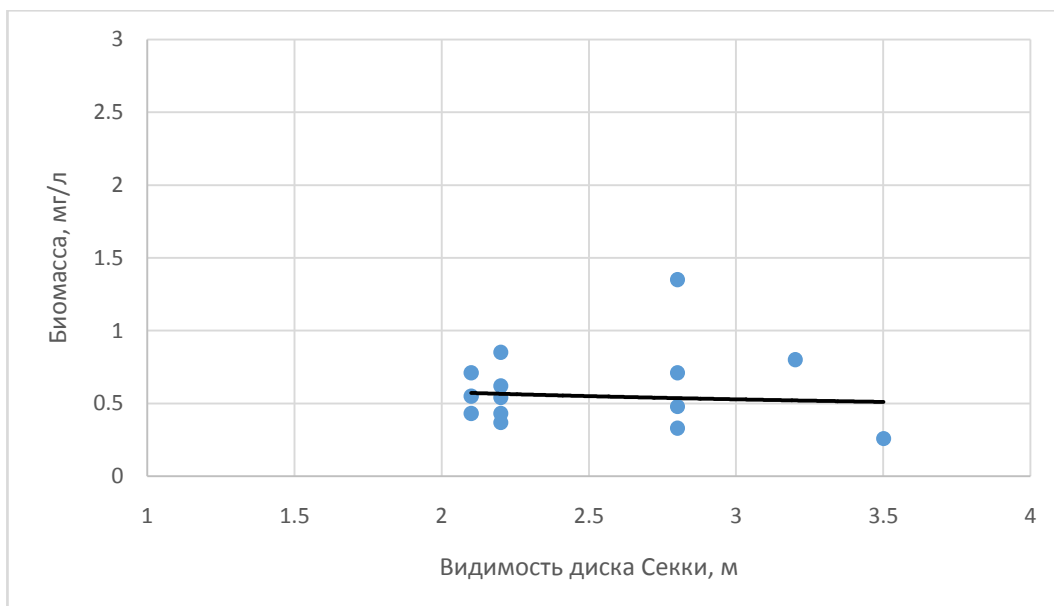


Рисунок 4.40– График зависимости прозрачности воды от содержания биомассы для переходного района (зона 2), [h=18;50]

Для район озерного уступа (50-70 метров) количество членов ряда составило 16. Связь между прозрачностью и биомассой представлено на рисунке. Коэффициент детерминации равен 0,26. Следовательно, видимость диска Секки на 26% зависит от биомассы, а на 74% - от иных факторов. Данная лимническая зона охватывает центральную часть Ладожского озера.

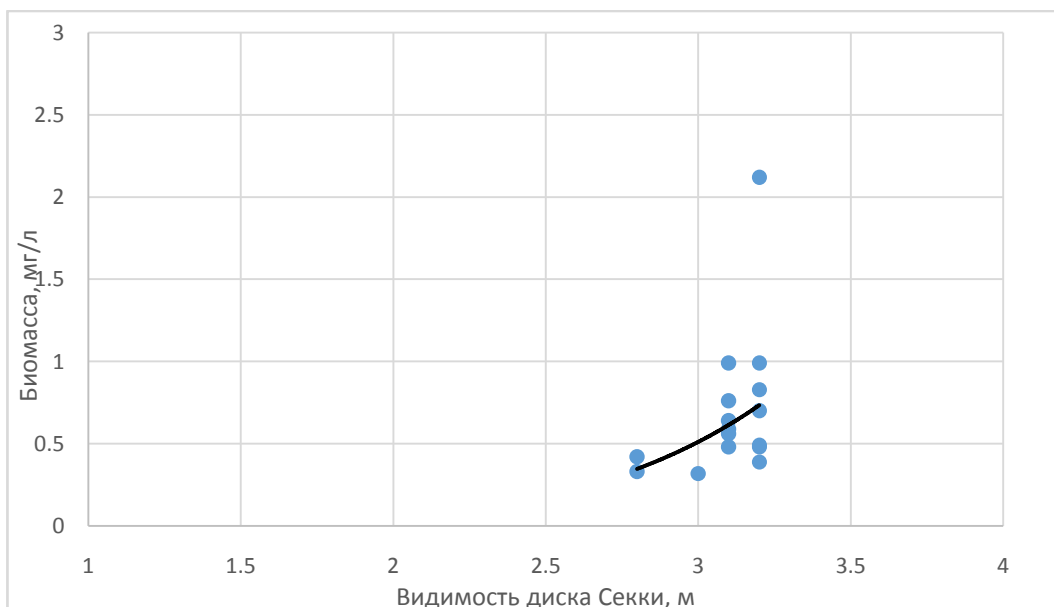


Рисунок 4.41– График зависимости прозрачности воды от биомассы для района озерного уступа (зона 3), h=[50;70] м

Ввиду коротких рядов данных для склонового (n=3) и глубоководного (n=1) районов озера, анализ данных не производился.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты и выводы:

1. Проведена систематизация и статистическая обработка исходной информации за период 1992 – 2013 гг., после анализа которой данные были приурочены к лимническим зонам, что позволило сделать последующие выводы.
2. Построены и проанализированы диаграммы, демонстрирующие развитие фитопланктона в Ладожском озере в пределах каждого отдельно взятого района глубин. Выделены доминирующие виды фитопланктона в каждом месяце. В весенний сезон (май) во всех зонах доминируют диатомовые водоросли, виды *Aulocesera islandica* и *Aulocesera italica*. Летний сезон характеризуется в первой половине (июнь-июль) преобладанием криптофитовых и синезеленых водорослей, виды *Rhodomonas lacustris* и *Aphanizonemon flos-aq*. Во второ половине летнего периода (июль-август) доминантными во всех зонах остаются только синезеленые водоросли. В начале осеннего периода (сентябрь) продолжается активное развитие синезеленых водорослей. Полный спад развития фитопланктона наблюдается в ноябре.
3. Построены и проанализированы графики сезонной изменчивости (с мая по ноябрь) фитопланктона в каждой зоне глубин. Активными видами фитопланктона выделены:
 - 1) *Aphanizonemon flos-aq* – вид синезеленых водорослей - во всех зонах, со смещением пиков концентраций в течение смены сезонов;
 - 2) *Rhodomonos lacutris* – вид криптофитовых водорослей, наблюдающийся во всех зонах.

- 3) *Microcystis wesenbergii*, *Woronichinia naegeliana* – вид криптофитовых водорослей, активно развивающихся в осенний период, возможно, являются субдоминантами вида *Rhodomonos lacutris*.
- 4) *Aulacoseira islandica* – вид диатомовых водорослей, наблюдающийся во всех зонах в весенний период.
4. Построена по поверхностному слою (горизонт 0 метров) общая нелинейная зависимость прозрачности воды Ладожского озера от биомассы. Рассчитан коэффициент детерминации $D_1 = 0,33$. Следовательно, дисперсия показателя видимости диска Секки зависит от концентрации биомассы на 33%.
5. Построены по поверхностному слою зависимости показателя видимости диска Секки от биомассы с учетом районирования глубин. В связи сограниченным объемом имеющихся данных, были учтены 3 зоны: мелководная, переходная и зона озерного уступа. Наибольший коэффициент детерминации наблюдается в центральной части озера (зона 3) и равен 0,26. Следовательно, разброс значений видимости диска Секки зависит от концентрации биомассы лишь на 26%, что дает основание характеризовать взаимосвязь прозрачности воды и биомассы в третьей зоне как незначительную. В мелководной и переходной зонах зависимость между показателями видимости и биомассы отсутствует.
6. Построена общая нелинейная зависимость прозрачности воды Ладожского озера от общей взвеси. Коэффициент детерминации D_2 равен 0,47, следовательно, дисперсия прозрачности воды зависит от общей взвеси на 47% и на 53% – от других факторов. Проанализировав показатели D_1 и D_2 , можно сделать вывод о том, что взаимосвязь прозрачности воды от общей взвеси более тесная, чем от биомассы фитопланктона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Науменко, М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели / М.А. Науменко // Известия РАН. Серия Географическая. — 2013. — № 1. — С. 62-72
2. Науменко, М.А. Ладожское озеро и его водосбор: цифровая модель и новые результаты / М.А. Науменко, С.Г. Каретников // Труды XII съезда Русского географического общества. — 2005. — Т. 6. — С. 82-86
3. Румянцев, В.А. Формирование качества воды Ладожского озера в современных условиях как основа его природных ресурсов / В.А. Румянцев, В.Г. Драбкова. — Исследования по ихтиологии и смежным дисциплинам на внутренних водоемах в начале XXI века (к 80-летию профессора Л.А. Кудерского), под общ. ред. Д.И. Иванова. — Вып. 337. — СПб.; М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. — С. 472-482
4. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки / Под ред. А.Ф. Трешникова. — Л.: Наука, 1990. — 280 с
5. Ладожское озеро — прошлое, настоящее, будущее / Под ред. В.А. Румянцева, В.Г. Драбковой. — СПб.: Наука, 2002. — 327 с
6. Тихомиров, А.И. Температурный режим и запасы тепла Ладожского озера / А.И. Тихомиров. — Тепловой режим Ладожского озера. Труды Лаборатории 140 озероведения. — Т. XXII. — Л.: Издательство Ленинградского университета, 1968. — С. 144-217
7. Ладога / Под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. — Спб.: Институт озероведения, РАН, 2013 — 568 с.
8. Трифонова И.С. 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. 184 с.

9. Никулина В.Н. 1996. Водоросли планктона как показатель экологического состояния водоемов. В кн: Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы. СПб. С. 13-35.
10. Науменко М.А. Эвтрофирование озёр и водохранилищ. Учебное пособие – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – 100 с
11. Россолимо Л.Л. 1977 . Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. М. 144 с.
12. Петрова Н.А. 1968. Фитопланктон Ладожского озера. В кн: Растительные ресурсы Ладожского озера. Л. С. 73-130
13. Капустина Л.Л. 1992. Особенности пространственно-временного распределения и функциональные характеристики бактериопланктона. В кн: Ладожское озеро - критерии состояния экосистемы. СПб. С. 14 6-178
14. Петрова Н.А., Антонов С.Е., Протопопова Е.В. 1992. Структурные и функциональные характеристики фитопланктона. В кн: Ладожское озеро - критерии состояния экосистемы. СПб. С. 119-145.