

ГБНОУ «Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных»
Эколого-биологический центр «Крестовский остров»
Лаборатория экологии и биомониторинга «ЭФА»



Оценка трофического статуса прудов Приморского парка Победы по содержанию биогенных соединений

Автор:

Тельнова Таисия Дмитриевна, 11 класс
Академическая гимназия №56

Руководитель:

Анисимова Александра Владимировна,
педагог доп. образования
ГБНОУ «СПБГДТЮ»

г. Санкт-Петербург
2021–2022 гг.

Оглавление

Введение	3
Обзор литературы.....	4
Материалы и методы.....	6
Результаты и обсуждения	12
Выводы	17
Список литературы.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Концентрация главных ионов в прудах.	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Концентрация биогенных соединений в прудах.....	19

Введение

Актуальность: Искусственные водоёмы являются важным элементом городских парков. От них зависит состояние микроклимата парков и их рекреационные возможности. Повышенное загрязнение водоема может привести к его эвтрофикации. Поскольку изучаемые нами водоёмы находятся на урбанизированных территориях, на них оказывается большое антропогенное воздействие, из-за которого происходит снижение устойчивости водных экосистем и замедление темпов самоочищения водоемов. Поэтому очень важна оценка трофического статуса водоемов. В качестве главных критериев степени трофности используются как показатели, характеризующие развитие фитопланктона, так и условия, определяющие это развитие (Неверова-Дзюпак, Цветкова, 2020). Основным условием развития водорослей является наличие в водоеме биогенных соединений (азота и фосфора). Их содержание определяет дальнейшую судьбу водного объекта и его обитателей.

Данное исследование проведено в Приморском парке Победы (г. Санкт-Петербург), на территории которого расположено 4 пруда. В некоторых из прудов в летнее время наблюдается цветение воды, что свидетельствует о повышенном содержании в них биогенов. В 2020 и 2021 годах проведены анализы на содержание соединений азота и фосфора в этих прудах.

Целью проекта является оценка трофического статуса прудов Приморского парка Победы по содержанию биогенных соединений.

Задачи:

1. Классифицировать воду в прудах по соотношению основных ионов.
2. Оценить динамику содержания биогенных элементов в прудах за летне-осенний период 2021 года.
3. Сравнить содержание биогенов в прудах в 2020 и 2021 году.
4. Оценить степень трофности прудов по содержанию азота и фосфора.

Обзор литературы

В наше время одним из главных показателей загрязненности водоемов является его трофический статус. Трофность – это характеристика водоема по его биологической продуктивности, обусловленная содержанием в нем биогенных соединений. Эвтрофикация – это естественный процесс, при котором бедные питательными веществами (олиготрофные) водоемы постепенно превращаются в водоемы, обогащенные биогенами (эвтотрофные), причем процесс этот обычно растягивается на тысячи лет. Однако вследствие деятельности человека эвтрофикация ускоряется («антропогенная эвтрофикация») и становится сейчас глобальной проблемой (Форсберг, 1996).

Для описания ситуации состояния малых водоемов в Санкт-Петербурге в качестве примера мы рассмотрели результаты практики студентов кафедры гидрологии суши Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), совершивших обследование наиболее крупных водоемов Санкт-Петербурга, системы Суздальских озер. Выявленные особенности химического состава исследованных вод свидетельствуют о высокой антропогенной нагрузке, которую испытывают водоемы Санкт-Петербурга, что резко снижает возможности их рекреационного использования.

Ключевыми питательными элементами в процессе эвтрофикации являются азот и фосфор. Их относят к биогенным веществам в природных водах. Оба эти элемента являются составной частью всех тканей живых организмов, поэтому им принадлежит ведущая роль в развитии жизни в водоемах. В свою очередь концентрация этих биогенных соединений и их режим зависят от различных процессов, протекающих в водоеме. Азот в водоемах представлен в неорганических и органических формах. Органический азот присутствует в составе аминокислот, белков и тканей организмов, а также в продуктах их распада и в продуктах их жизнедеятельности. В последствии органический азот переходит в неорганический, этот процесс называется регенерацией биогенных элементов, конечным этапом которого является образование аммиака. Но соединения аммиака не устойчивы в присутствии кислорода и окисляются под действием бактерий нитрификаторов до нитритов и нитратов. Нитраты являются последней ступенью минерализации сложного органического вещества. Дальше азот потребляется растениями. Круговорот фосфора несколько проще чем у азота. Обмен фосфора происходит при двух процессах – фотосинтезе и разложении органического вещества. Неорганический фосфор чаще всего присутствует в виде ортофосфатов. Фосфаты активно потребляются фитопланктоном, фитобентосом и высшими водными растениями, поэтому изменение его концентрации сильно сказывается на их жизнь и развитие (Никаноров, 1999).

При увеличении поступления биогенных элементов возрастает масса фито- и зоопланктона. В экосистеме образуется избыток органического вещества, который скапливается на дне. Эта органика утилизируется бактериями, обитающими в донных осадках. Однако, разлагая органику,

бактерии расходуют кислород, растворенный в воде. При возникновении дефицита кислорода большинство донных обитателей погибает. Остаются только бактерии, способные разлагать органику в бескислородных условиях с возникновением сероводорода. Сероводород губителен для других водных организмов. В результате в местах, где вода плохо перемешивается, образуются "заморы" (Данилова, 2005). Возможности таких водоемов весьма ограничены как в практическом, так и в рекреационном смысле.

Бороться с эвтрофикацией очень сложно. Источников поступления в водоем азота и фосфора множество, они носят разнообразный характер. Эти источники неизбежно возникают при росте численности населения, особенно в крупных городах, таких как Санкт-Петербург.

В качестве примера ситуации о состоянии малых водоемов в Санкт-Петербурге мы рассмотрели результаты практики студентов кафедры гидрологии суши СПбГУ. Было проведено обследование наиболее крупных водоемов Санкт-Петербурга: системы Суздальских озёр. Выявленные особенности химического состава исследованных вод свидетельствуют о высокой антропогенной нагрузке, которую испытывают водоемы Санкт-Петербурга, что резко снижает возможности их рекреационного использования (Гидрогеохимические особенности ..., 2020).

Материалы и методы

Материалы для исследования были собраны в ноябре 2020 г., июне, августе и ноябре 2021 года из четырех прудов Приморского парка Победы, расположенного на Крестовском острове г. Санкт-Петербурга (Рис.1, 2). В каждом пруду воду отбирали в пластиковые бутылки из двух точек с разных берегов. В этот же или на следующий день пробы анализировали в химико-аналитической лаборатории Эколого-биологического центра “Крестовский остров”. Всего за период исследования было отобрано 28 проб воды, в каждой из которых определено содержание ионов аммония, нитритов, нитратов и фосфатов. Дополнительно было отобрано ещё 8 проб воды (по две из каждого пруда) для анализа на главные ионы и определения гидрохимического типа вод.



Рисунок 1. Расположение прудов, из которых брались пробы. Места сбора проб: 1,2 – берега Лебяжьего пр.; 3,4 – берега Северного пр.; 5,6 – берега Южного пр.; 7,8 – берега Крестового пр.

Южный пруд обладает самой большой площадью из всех – 31 473 м². Максимальная глубина пруда достигает 4 м. На одном берегу водоема стоит новый жилой комплекс, другие же берега облагорожены, спуски к воде относительно пологие. Пруд имеет сильно вытянутую и уплощенную в середине форму.

Лебяжий пруд, как можно понять из названия, заселен водоплавающими птицами. Площадь водоема равна 24 529 м², глубина оставляет 2-3 м. Некоторая часть берега облагорожена таким образом, что нижняя гранитная ступенька находится под водой для удобного существования прудовых птиц, т.к. берега водоема очень крутые.

Северный пруд также называют прудом Мандолины из-за соответствующей формы. Площадь пруда равна 17 800 м², а глубина достигает 2

м. Пруд был образован речкой Чухонкой, когда ее перекрыли дамбой. Водоем широко используется: прямо из него бьют фонтаны, плавают катамараны, часть берега находящаяся на территории парка развлечений устлана деревянной мостовой. Водоем негласно разделен на две части: на часть, принадлежащую парку, и на часть не облагороженную, покрытую зарослями камыша по берегам. Следует сказать, что между частями стоит перегородка-фильтр, отлавливающая крупные части растений и мусор, упавших в пруд.

Площадь **Крестового пруда** равна 7091 м², а глубина – до 2 м. Весной-летом заметно сильное цветение пруда, что привлекает большое количество уток. Пруд имеет характерную форму креста с круглым островком посередине. Спуски к воде сильно крутые, берега несильно заросли деревьями.

Площади прудов вычислялись при помощи онлайн-калькулятора области карты (URL: <https://3planeta.com/googlemaps/google-maps-calculator-ploschadei.html>).



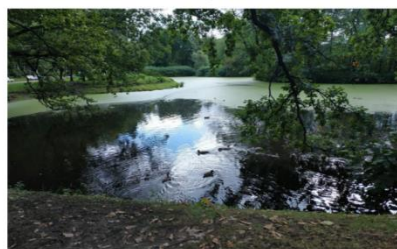
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2. Южный пруд (а); Лебяжий пруд (б); Северный пруд (в); Крестовый пруд (г).

Методы химического анализа

Методы исследования воды на определение ортофосфатов, нитратов, нитритов и аммонийного азота мы брали из книги «Методы исследования качества воды водоемов» Ю. В. Новикова (1990). Пробы воды перед анализом фильтровали, анализ проводили на фотоколориметре модели КФК-3. Концентрация биогенных соединений вычисляли по калибровочным графикам. Калибровочные графики строились в программе Excel в соответствии с инструкцией (URL: <https://tutorybird.ru/excel/kak-sdelat-linejnyu-kalibrovochnuyu-k/>).

Определение ортофосфатов

Анализ пробы: к 50 мл профильтрованной воды добавляют 1 мл кислого молибдата аммония и через 5 минут 0,1 мл рабочего раствора хлорида олова, перемешивают и через 10 минут фотометрируют в кюветах толщиной оптического слоя 2-5 см при фиолетовом светофильтре (длина волны 425 нм). Содержание ортофосфатов (мг) находят по калибровочному графику.

Калибровочный график: в ряд мерных колб вместимостью 50 мл вносят стандартный раствор в количестве 0 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 20 мл, что соответствует содержанию 0 – 0,0005 – 0,001 – 0,002 – 0,005 – 0,01 – 0,02 мг. Доводят объем до метки дистиллированной водой, обрабатывают, как исследуемую воду, и строят калибровочный график в координатах оптическая плотность – содержание фосфатов (мг). Концентрацию ортофосфатов (мг/л) определяют по формуле: $X=A*1000/V$, где А – содержание ортофосфатов, найденное по калибровочному графику (мг); V– объем пробы, взятой для анализа (мл).

Определение нитратов

Анализ пробы: в фарфоровую чашку помещают 10 мл исследуемой профильтрованной воды. Прибавляют 1 мл 0,5% салицилата натрия и выпаривают досуха на водяной бане. После охлаждения сухой остаток увлажняют 1 мл серной кислоты пл. 1,84 г/см³, тщательно растирают его стеклянной палочкой и оставляют на 10 мин. Затем добавляют 5-10 мл дистиллированной воды и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл. Прибавляют 7 мл 10% раствора гидроксида натрия, доводят объем дистиллированной водой до метки и перемешивают. Готовые к анализу пробы можно видеть на Рис.3. В течении 10 мин измеряют оптическую плотность раствора в кюветах толщиной оптического слоя 2-5 см при фиолетовом светофильтре (длина волны 410 нм) по отношению к дистиллированной воде. Содержание нитратов определяют по калибровочному графику.

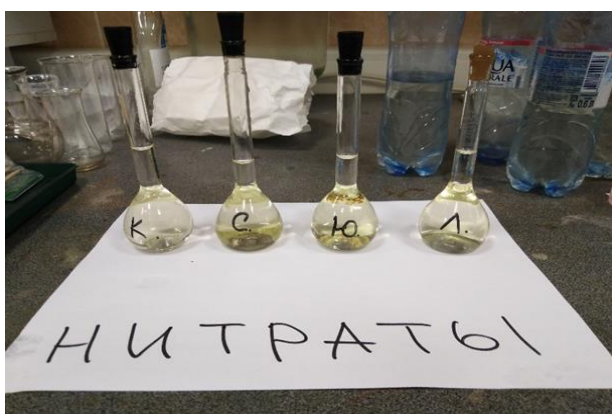


Рисунок 3. Пробы, подготовленные к анализу на нитраты, из Крестового, Северного, Южного, Лебяжего прудов соответственно



Рисунок 4. Калибровочные растворы по нитратам

Калибровочный график: в фарфоровые чашки помещают 0 – 0,2 – 0,5 – 1 – 5 – 10 – 15 – 20 мл рабочего стандартного раствора, что соответствует содержанию 0 – 0,002 – 0,005 – 0,01 – 0,05 – 0,1 – 0,15 – 0,2 мг нитратов, далее вносят по 1 мл 0,5% салицилата натрия и выпаривают на водяной бане до суха. Сухой остаток обрабатывают так же, как при анализе исследуемой воды (Рис.4). Фотометрируют и строят калибровочный график в координатах оптическая плотность – содержание нитратов (мг). Концентрацию нитратов (мг/л) определяют по формуле: $X=A*1000/V$, где А - содержание нитратов, найденное по калибровочному графику (мг); V- объем пробы, взятой для анализа (мл).

Определение нитритов

Анализ пробы: в колбу помещают 50 мл исследуемой отфильтрованной воды, прибавляют 5 мл 10% реактива Грисса и перемешивают. После 40 мин проявляется окраска, которая сохраняется еще 3 часа. Готовые растворы изображены на Рис.5. После 40 мин раствор фотометрируют в кюветах толщиной оптического слоя 2-5 см при зеленом светофильтре (длина волны 530 нм) по отношению к дистиллированной воде с добавлением реактива Грисса. Содержание нитритов определяют по калибровочному графику.

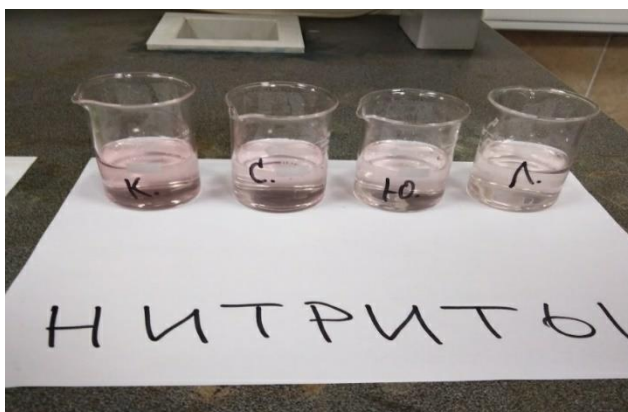


Рисунок 5. Пробы, подготовленные для анализа на нитриты, из Крестового, Северного, Южного, Лебяжьего прудов соответственно.



Рисунок 6. Калибровочные растворы по нитритам.

Калибровочный график: в ряд мерных колб вместимостью 50 мл вносят рабочий стандартный раствор в количестве 0 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 - 15 мл, что соответствует содержанию 0 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 2 – 5 – 10 – 15 мкг NO₂⁻. В колбы доливают дистиллированную воду до метки и прибавляют реактивы, как при анализе пробы, перемешивают и через 40 мин фотометрируют. Строят калибровочный график в координатах оптическая плотность – содержание нитритов (мг). Концентрацию нитритов (мг/л) определяют по формуле: $X=A/V$, где А – содержание нитритов, найденное по калибровочному графику (мг); V – объем пробы, взятой для анализа (мл).

Определение аммиака и ионов аммония

Анализ пробы: в стаканчик или колбу помещают 50 мл исследуемой отфильтрованной воды, к ней прибавляют 1 мл тартрата калия-натрия и 1 мл реактива Несслера, перемешивают (Рис.7). Через 10 мин фотометрируют в кюветах толщиной оптического слоя 2-5 см при фиолетовом светофильтре (длина волны 425 нм) по отношению к безаммиачной воде. Содержание нитратов определяют по калибровочному графику.



Рисунок 7. Пробы, готовые для анализа на аммиак и ионы аммония, из Крестового, Северного, Южного, Лебяжьего прудов соответственно



Рисунок 8. Калибровочные растворы по аммиаку и ионам аммония

Калибровочный график: в ряд мерных колб вместимостью 50 мл вносят 0 – 0,1 – 0,2 – 0,5 – 1 – 1,5 – 2 – 3 мл рабочего раствора, что соответствует содержанию 0 – 0,005 – 0,01 – 0,025 – 0,05 – 0,075 – 0,1 – 0,15 мг ионов аммония. Доводят безаммиачной водой до метки и прибавляют реактивы, как при анализе пробы (Рис.8). Через 10 мин фотометрируют при фиолетовом светофильтре (длина волны 425 нм). Концентрацию ионов аммония (мг/л) определяют по формуле: $X=A*1000/V$, где A – содержание ионов аммония, найденное по калибровочному графику (мг); V – объем пробы, взятой для анализа (мл).

Определение главных ионов

Для определения основных ионов пробы анализировались по методам из книги А. Г. Муравьева «Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами». Анализ воды на сульфат-ионы производился по методике из книги В. А. Аксенова «Химия воды: аналитическое обеспечение лабораторного практикума». Гидрохимический тип вод прудов определяли по классификации О. А. Алекина.

Определение карбонат- и гидрокарбонат-анионов является титриметрическим и основано на их реакции с водородными ионами в присутствии фенолфталеина или метилоражевого в качестве индикаторов. Для титрования обычно используют титрованные растворы соляной кислоты с точно известным значением концентрации 0.05 моль/л либо 0.1 моль/л.

Метод определения общей жесткости как суммарной массовой концентрации катионов кальция и магния основан на реакции солей кальция и магния с реактивом - трилоном Б. Анализ проводят в аммиачном буферном растворе при pH 10–10.5 титриметрическим методом в присутствии индикатора хром темносинего кислотного.

Метод определения массовой концентрации иона кальция аналогичен методу определения общей жесткости с реактивом трилоном Б с той разницей, что анализ проводится в сильнощелочной среде (pH 12–13) в присутствии индикатора мурексина. Определению кальция мешают диоксид углерода и карбонаты, убираемые из пробы при ее подкислении.

Для **определения содержания магния** применялся расчётный метод по разности результатов определения общей жесткости и концентрации катиона кальция.

Массовую концентрацию катиона натрия определяют расчётным методом по разности суммы массовых концентраций главных анионов и значения общей жесткости, помноженных на эквивалентную массу натрия.

Метод определения массовой концентрации хлорид-аниона основан на титровании хлорид-анионов раствором нитрата серебра, в результате чего образуется суспензия практически нерастворимого хлорида серебра. В качестве индикатора используется хромат калия, который реагирует с избытком нитрата серебра с образованием хорошо заметного оранжево-бурого осадка хромата серебра.

Содержание сульфат-ионов определяли комплексометрическим методом с помощью трилона Б. В исследуемую пробу вводили раствор хлорида бария для осаждения сульфатов, аммиачный буфер и индикатор эриохром черный. Далее проводили титрование трилоном Б до растворения осадка и изменения окраски индикатора с винно-красной до синей.

Расчет трофности

Концентрация биогенных элементов, в частности соединений азота и фосфора, определяет степень трофности водоема. Оценка трофности прудов проводилась в соответствии с Табл. 1. (Неверова-Дзиопак, Цветкова, 2020).

Табл. 1. Некоторые признаки трофности водных экосистем.

	олиготр.	мезотр.	эвтроф.	гипертр.
Концентрация минерального азота, мгN/л	0,2-0,4	0,3-0,65	0,5-1,5	>1,5
Концентрация минерального фосфора, мгP/л	0,01-0,03	0,03-0,25	>0,25	-

Результаты и обсуждения

Классификация прудов по соотношению основных ионов

Результаты анализа проб на содержание главных ионов представлены в Приложении 1. По классификации О. А. Алекина, воды всех прудов относятся к гидрокарбонатно-магниевым водам первого типа. Данная характеристика соответствует региональному типу вод. По общей минерализации выделяется Крестовой пруд, для которого отмечено максимальное значение - 819 мг/л. В остальных прудах минерализация значительно ниже и составляет от 186 до 256 мг/л.

Динамика содержания биогенных соединений в прудах за летне-осенний период 2021 года

Подробные результаты анализа проб на содержание ионов аммония, нитритов, нитратов и фосфатов представлены в Приложении 2. Ниже на диаграммах отображены некоторые обнаруженные закономерности.

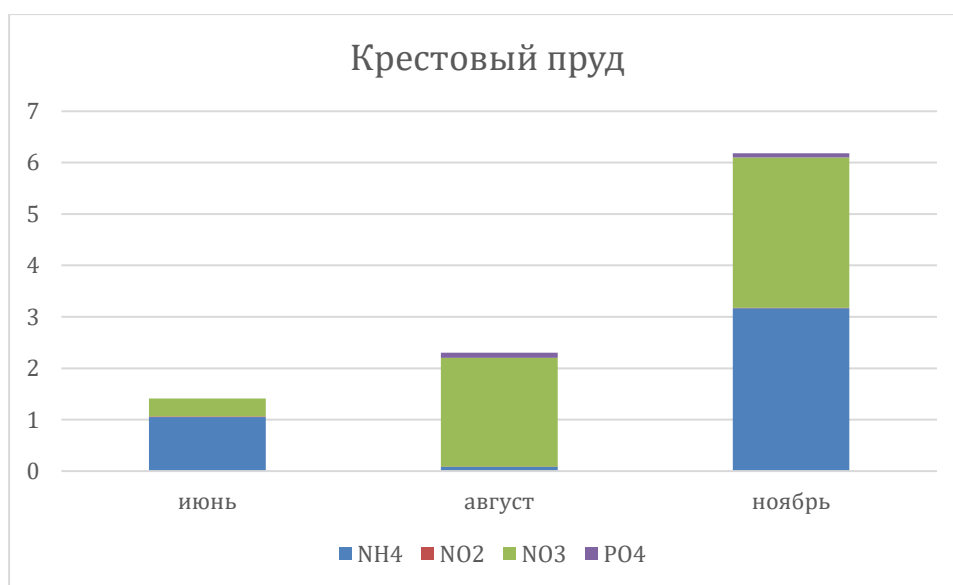


Рисунок 9. Изменения содержания биогенов в Крестовом пруду за летне-осенний период (мгN/л, мгP/л)

В Крестовом пруду концентрация биогенных соединений увеличивается с июня по ноябрь. В июне большую роль играет аммоний, его концентрация составляет 1,05 мгN/л, концентрация нитратов составляет 0,35 мгN/л, в августе нитраты возрастают до 2,12 мгN/л. Ноябре концентрация аммония возрастает до 3,17 мгN/л, что близко к значениям по нитратам 2,9 мгN/л. Высокая концентрация аммония в пробах говорит об интенсивных процессах разложения органики.

Есть несколько возможных причин, по которым Крестовый пруд имеет самые высокие показатели концентрации биогенных элементов:

- из-за маленькой глубины, специфической формы креста с островом

посередине, сезонное перемешивание происходит плохо, в пруду накапливаются донные отложения;

- рядом с прудом находится компостная площадка парка, многие биогены поступают туда через почву;
- пруд заселен утками, которые являются дополнительным источником биогенных элементов.

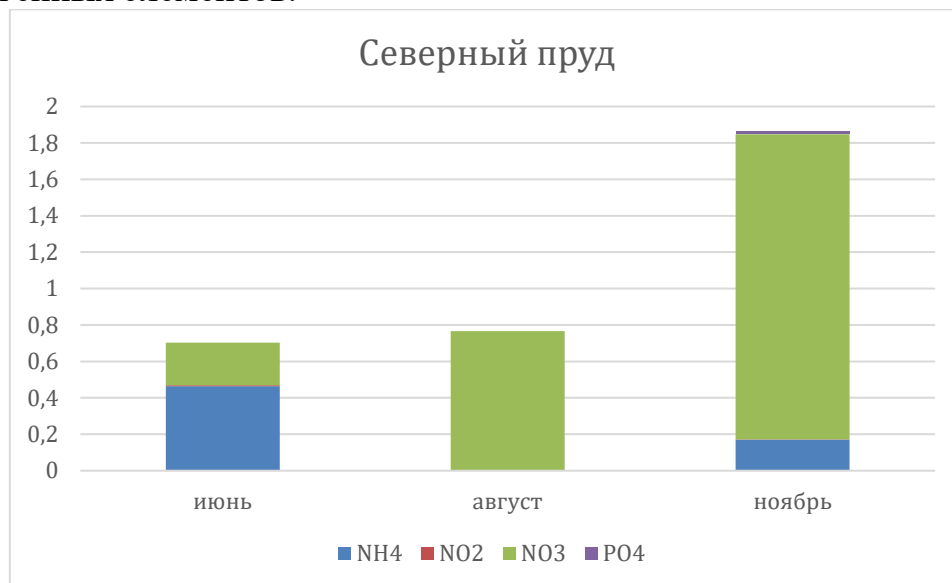


Рисунок 10. Изменения содержания биогенов в Северном пруду за летне-осенний период (мгN/л, мгP/л)

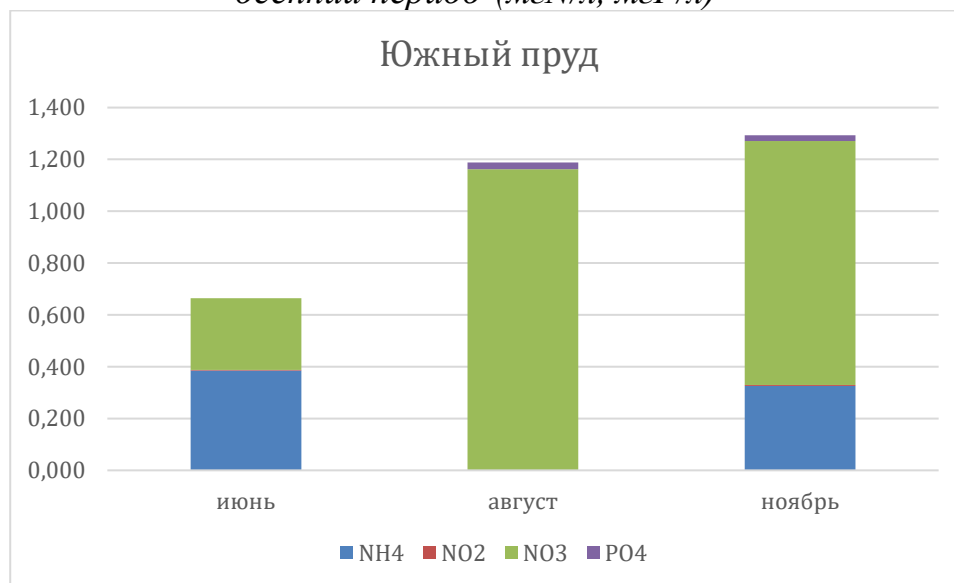


Рисунок 11. Изменения содержания биогенов в Южном пруду за летне-осенний период (мгN/л, мгP/л)

Южный и Северный пруды имеют похожую динамику содержания соединений азота и фосфора. В июне преобладающим соединением является аммиак в Южном 0,385 мгN/л, в Северном 0,464 мгN/л. В августе в обоих прудах сильно вырастает количество нитратов, в то время как аммоний падает до 0. В ноябре большую роль в обоих прудах играют нитраты, и начинает возрастать аммиак в Южном до 0,326 мгN/л, а в Северном до 0,17 мгN/л. Стоит отметить, что в пробах Южного пруда за август и ноябрь присутствуют фосфаты.

Увеличение содержания биогенов в осенний период можно объяснить тем, что водная растительность перестает вегетировать и активно потреблять биогенные элементы. А также начинается осеннее перемешивание воды, когда охлажденные поверхностные воды опускаются на дно и вытесняют оттуда придонные воды, которые обычно богаты биогенами в результате распада органики на дне.

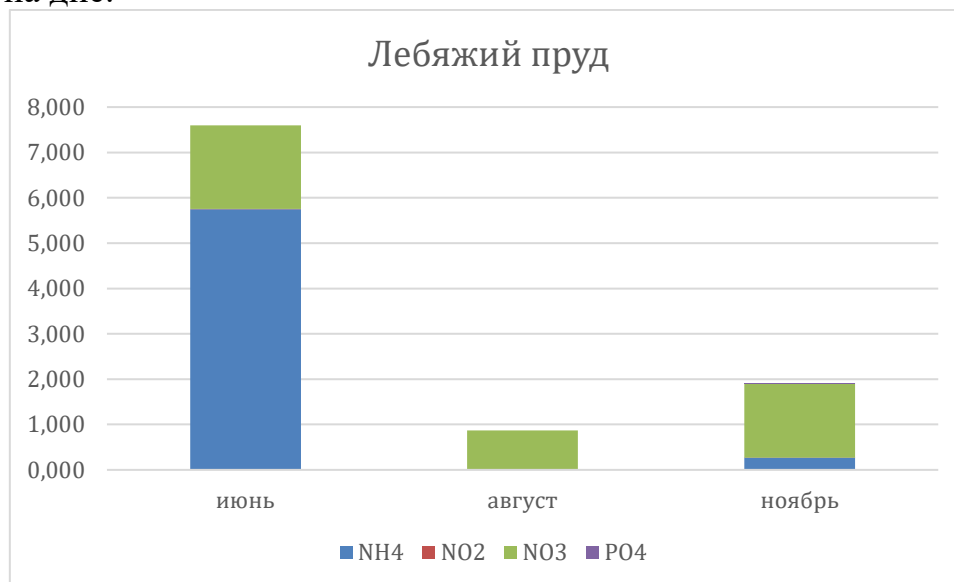


Рисунок 12. Изменения содержания биогенов в Лебяжем пруду за летне-осенний период (мгN/л, мгP/л)

В Лебяжем пруду наблюдается несколько иная картина: максимальное содержание биогенов отмечено не в ноябре, а в июне, за счет крайне высокой концентрации ионов аммония - 5,751 мгN/л. В августе и ноябре биогены представлены в основном нитратами - 0,872 и 1,635 мгN/л соответственно.

Динамика содержания биогенов в прудах в 2020 и 2021 г.

В 2020 году пробы были отобраны только в ноябре, поэтому для оценки межгодовых изменений мы взяли для сравнения данные за ноябрь 2021 г.

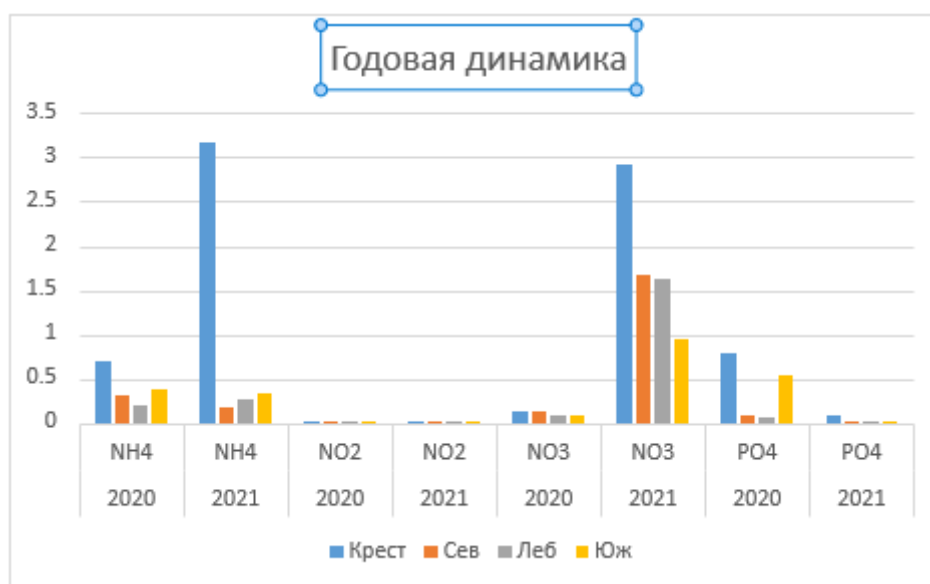


Рисунок 13. Годовая динамика содержания биогенов Крестовом, Северном, Лебяжем, Южном прудах (мгN/л, мгP/л)

За годовой период с ноября 2020 года по ноябрь 2021 года заметно возросла концентрация **нитратов** во всех прудах. В Крестовом с 0,135 до 2,9 мгN/л, в Северном с 0,135 до 1,615 мгN/л, в Лебяжем с 0,088 до 1,6 мгN/л и в Южном с 0,088 до 0,94 мгN/л. Такая зависимость может быть спровоцировано разными погодными условиями в каждый из сезонов.

Концентрация **аммонийного азота** значительно возросла в Крестовом пруду в 2020 г. она составляла 0,704 мгN/л, а в 2021 г. 3,17 мгN/л. Высокое

Содержание **нитритов** понижается в Северном (0,0153 – 0,00186 мгN/л), Южном (0,0136 – 0,0036 мгN/л) и Лебяжем (0,0136 – 0,0036 мгN/л) прудах, в то время как в Крестовом возрастают (0,00061 – 0,0087 мгN/л). Но по сравнению с другими показателями содержание нитратов в пробах минимальное.

Значения по **ортофосфатам** понижаются во всех прудах. Наибольшая разница в видна в Крестовом (0,796 – 0,08 мгP/л) и Южном (0,54 – 0,021 мгP/л).

Оценка трофности

Оценка степени трофности прудов была проведена по данным за летне-осенний период 2021 г. Для этого брали среднее значение концентрации азотных и фосфорных соединений за три месяца. Результаты представлены в Табл. 3.

Табл. 3. Оценка трофности исследуемых прудов по концентрациям минерального азота и фосфора.

Пруды:	Крестовый	Северный	Лебяжий	Южный
Концентрация минерального азота, мгN/л	3,240 гипертр.	1,106 эвтроф.	3,458 гипертр	1,033 эвтроф.
Концентрация минерального фосфора, мгP/л	0,088 эвтроф.	0,007 олиготр.	0,010 олиготр.	0,024 олиготр.

По содержанию минерального азота Северный и Южный пруды относятся к эвтрофным водоемам, а Крестовый и Лебяжий к гипертрофным. По содержанию соединений фосфора только Крестовый пруд имеет эвтрофный статус, остальные пруды - олиготрофные. Низкое содержание соединений фосфора вероятно является лимитирующим фактором для развития водной растительности в Северном, Лебяжем и Южном прудах, и в некоторой степени сдерживает темпы эвтрофикации. Наибольшее беспокойство вызывает состояние Крестового пруда, в котором процессы эвтрофикации выражены сильнее всего.

Выводы

1. Тип воды в исследуемых прудах соответствует региональному фону и характеризуется как гидрокарбонатно-магниевый. Максимальное значение общей минерализации 819 мг/л отмечено для Крестового пруда; в остальных прудах минерализация значительно ниже и составляет от 186 до 256 мг/л.
2. В Крестовом, Северном и Южном прудах наблюдается закономерное увеличение концентрации биогенов с июня по ноябрь, при этом основной вклад делают ионы аммония и нитраты. В Лебяжьем пруду максимальная концентрация биогенов отмечена в июне из-за крайне высокого содержания ионов аммония 5,7 мгN/л.
3. В 2021 году по сравнению с 2020 годом в несколько раз возросла концентрация нитратов во всех прудах: в Крестовом с 0,1 до 2,9 мгN/л, в Северном с 0,1 до 1,6 мгN/л, в Лебяжьем с 0,1 до 1,6 мгN/л и в Южном с 0,1 до 0,9 мгN/л.
4. По содержанию минерального азота Северный и Южный пруды относятся к эвтрофным водоемам, а Крестовый и Лебяжий к гипертрофным. По содержанию соединений фосфора только Крестовый пруд имеет эвтрофный статус, остальные пруды - олиготрофные. Вероятно низкое содержание фосфора сдерживает темпы эвтрофикации в Северном, Южном и Лебяжьем пруду. В Крестовом пруду процессы эвтрофикации выражены наиболее сильно.

Список литературы

1. Данилова А. Е. Общая Экология / Учебное пособие. - Саратов, СГТУ, 2005. - 96 с.
2. Форсберг К. Эвтрофикация Балтийского моря. – СПб.: Гидрометиздат, 1996.
3. Неверова-Дзиопак, Е. Оценка трофического состояния поверхностных вод : монография / Е. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова ; СПбГАСУ. – СПб., 2020. – 176 с. – Текст : непосредственный.
4. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Гидрометеиздат, 2001. – 444 с.
5. Никаноров А. М., Трунов Н.М. Внутриводоемные процессы и контроль качества природных вод. СПб.: Гидрометеиздат, 1999. 155 с
6. Новиков Ю. В. и др. Методы исследования качества воды водоемов / Новиков Ю. В., Ласточкина К. О., Болдина З. Н.: Под ред. А. П. Шицковой. — М.: Медицина,— 1990.
7. Гидрогеохимические особенности городских водоемов на примере Санкт-Петербурга / В. О. Ладанова, И. М. Корнаухов, Н. А. Панютин, Т. М. Потапова // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, Санкт-Петербург, 23–31 октября 2020 года / Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: ООО "Издательство ВВМ", 2020. – С. 930-934.
8. Аксенов, В. И. А 424 Химия воды: Аналитическое обеспечение лабораторного практикума : учеб. пособие / В. И. Аксенов, Л. И. Ушакова, И. И. Ничкова ; [под общ. ред. В. И. Аксенова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. — 140 с. ; ил.
9. А. Г. Муравьев Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд., доп и перераб. – СПб.: «Кристалл+», 2009.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Концентрация главных ионов в прудах.

	Ca²⁺, мг/л	Mg²⁺, мг/л	Na⁺, мг/л	SO₄²⁻, мг/л	HCO₃⁻, мг/л	CO₃²⁻, мг/л	CL⁻, мг/л	Сумма главных ионов, мг/л
Южный пр.	3.25	50.73	25.69	0.11	137.25	0.00	18.30	235.33
Северный пр.	4.00	55.89	25.52	0.10	152.50	0.00	18.30	256.32
Лебяжий пр.	4.50	37.06	20.09	0.12	106.75	0.00	18.05	186.57
Крестовый пр.	4.25	201.39	49.59	0.14	518.50	0.00	45.25	819.12

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Концентрация биогенных соединений в прудах, мгN/л, мгP/л.

	Ноябрь 2020 г.				Июнь 2021 г.				Август 2021 г.				Ноябрь 2021 г.			
	NH₄⁺	NO₂⁻	NO₃⁻	PO₄³⁻	NH₄⁺	NO₂⁻	NO₃⁻	PO₄³⁻	NH₄⁺	NO₂⁻	NO₃⁻	PO₄³⁻	NH₄⁺	NO₂⁻	NO₃⁻	PO₄³⁻
Крестовый пр.	0.704	0.001	0.135	0.796	1.052	0.013	0.347	x	0.084	0.003	2.119	0.095	3.168	0.009	2.926	0.080
Северный пр.	0.310	0.015	0.135	0.078	0.464	0.005	0.234	x	0.000	0.004	0.762	0.000	0.171	0.002	1.675	0.014
Лебяжий пр.	0.185	0.014	0.088	0.062	5.751	0.007	1.841	x	0.000	0.000	0.872	0.000	0.267	0.002	1.635	0.020
Южный пр.	0.373	0.014	0.088	0.540	0.385	0.003	0.277	x	0.000	0.000	1.162	0.027	0.326	0.004	0.942	0.021