

На правах рукописи

РАМАДАН РИТА

**Сезонная динамика функционально-экологического качества
разных вертикальных уровней малых водных экосистем Москвы**

Специальность: 1.5.15. Экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2023

Работа выполнена на кафедре экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель: **Васенев Иван Иванович**, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный консультант: **Таллер Евгений Борисович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Мажайский Юрий Анатольевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник Мещерского филиала ФГБНУ «ВНИИГ иМ имени А.Н. Костякова»

Сергеева Ирина Вячеславовна, доктор биологических наук, заведующая кафедрой «Ботаника, химия и экология» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова».

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Защита состоится «6» сентября 2023 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.06 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8(499)976-21-84.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Отдел диссертационных советов.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета: <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.06,
кандидат биологических наук

Морев Д. В

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследований. Локальные экосистемы прудов города Москвы с сообществами различных растений и животных и связанными с ними абиотическими условиями представляют собой сложную вертикально дифференцированную систему. При попадании в пруды органических и минеральных веществ, содержащиеся в них фосфор и азот часто вызывают процесс эвтрофикации водоёмов. Экологическое состояние многих малых прудов в условиях Московского мегаполиса с высоким уровнем антропогенной нагрузки вызывает озабоченность жителей и городских структур управления (Бубунец и др., 2018; 2019).

Антропогенные воздействия часто приводят к загрязнению водоёмов, гибели наиболее чувствительных гидробионтов и снижению их биологического разнообразия (Марченко, 2019), что, в свою очередь, ухудшает общее экологическое состояние городских территорий и в итоге пагубно влияет на здоровье населения (Логвинова, 2016).

В последнее время проводятся работы по очистке и восстановлению прудов. Однако при этом нередко нарушается естественный режим их жизни, теряются многие важные функции, утрачивается живописность и рекреационное значение (Шабанова, 2016). Экологический мониторинг состояния водоёмов позволяет лучше управлять их качеством, поддерживать нормальное состояние (Бухтояров и др., 2015; Танашева и др., 2021) с учетом выявляемых при этом регионально-типологических закономерностей пространственной изменчивости и временной динамики основных диагностических параметров качества воды и придонных отложений.

Целью работы является проведение комплексных мониторинговых экологических исследований с анализом регионально-типологических особенностей пространственного варьирования и сезонной динамики функционально-экологического качества трех вертикальных слоев воды и макрозообентоса представительных прудовых экосистем в условиях северной части Москвы.

В соответствии с поставленной целью исследования решались следующие задачи:

1. Экологический мониторинг физико-химических и гидрохимических показателей качества воды в трех вертикальных слоях различных функциональных зон исследуемых представительных малых водоёмов (прудов) в северной части города Москвы.

2. Экологическая оценка макрозообентоса разных функциональных зон изучаемых водоемов.

3. Проведение комплексной оценки функционально-экологического качества воды исследуемых водоёмов с анализом лимитирующих экологических факторов.

Научная новизна. Проведенная в течение трех лет комплексная экологическая оценка качества воды трех вертикальных слоев и разных функциональных зон пяти представительных для северной части Москвы прудов в условиях двух контрастных сезонов года (зима / лето), показала значительное пространственное варьирование и межсезонную динамику большинства исследованных физико-химических и гидрохимических показателей: как по акватории прудов, так и по глубине водоёмов – достигающих кратных перепадов в случае содержания аммония, меди и железа, и наиболее ярко выраженное по содержанию хлоридов.

Характерное для Москвы антропогенное подщелачивание воды в исследуемых прудах приводит к изменению реакции среды на 1–3 единицы pH. Изменение с глубиной температуры воды на 0,5–2°C сопровождается сдвигом ее насыщения кислородом на 1–5 мг/л. Содержание растворенного кислорода в летний период (при повышении температуры до 20–25°C) может кратно уменьшаться по сравнению с его содержанием зимой.

Содержание биогенного азота в форме нитритов и аммония значимо увеличивается с повышением рекреационной нагрузки в зоне воздействия пляжа (до 0,06 мг/л нитритов и 1,5 мг/л аммония) и агрогенной нагрузки в зоне влияния опытных полей (до 0,06 мг/л нитритов и 1,3 мг/л аммония). Пространственная дифференциация основных гидрохимических показателей определяет состояние макрозообентоса и сапробность воды прудов, которая соответствует α -мезосапробной и β -мезосапробной зонам. α -мезосапробная зона «загрязненной воды» характерна для парковых функциональных зон с интенсивной рекреационной нагрузкой и зоны впадения в пруд «лесного» русла реки (Жабенки), зоны действия опытных полей и зон влияния дорог с интенсивным движением, которые все вместе занимают, как правило, значительную часть акватории преобладающих в Москве небольших по площади прудов.

Практическая значимость работы определяется актуально стоящими задачами организации и проведения системного экологического мониторинга акватории малых водоемов Московского мегаполиса для своевременного ре-

гулирования антропогенной нагрузки на них, определения научно обоснованной периодичности их очистки и благоустройства с улучшением функционально-экологического качества воды более, чем 400 малых водоемов города.

Полученные результаты отражают ряд регионально-типологических закономерностей пространственной изменчивости и динамики основных диагностических показателей экологического состояния воды и макрозообентоса водоемов с разным уровнем и характером антропогенной нагрузки. Они будут полезны для экологического обоснования принятия проектно-технологических решений по сохранению и восстановлению качества воды прудов в условиях северной части Москвы и других водоемов, находящихся в аналогичных экологических условиях – с учетом результатов оценки и прогноза экологического качества воды разных функциональных зон прудовых экосистем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Для небольших по акватории прудов в условиях северной части Москвы характерна выраженная пространственная дифференциация по глубине и функциональным зонам водоёмов физико-химических и гидрохимических показателей качества их воды, достигающая кратных перепадов содержания растворенного кислорода, аммония, хлоридов, железа и меди.

2. Максимальная сезонная динамика качества воды малых водоёмов в условиях северной части Москвы связана с локальным повышением содержания биогенных элементов (прежде всего, аммонийного азота) и летним снижением концентрации растворённого кислорода при повышении температуры воды и уровня рекреационной нагрузки на экосистему прудов.

3. Сапробность, как показатель органического загрязнения, выявляемый по таксономической структуре макрозообентоса, дифференцирована по функциональным зонам водоёмов, характеру и уровню антропогенной нагрузки на них. Класс α -мезосапробная «загрязненная вода» характерен для прибрежных зон с максимальной рекреационной нагрузкой, зон влияния опытных полей и максимального поступления органических веществ с листовым опадом интенсивно вегетирующих парковых насаждений.

Методология и методы исследования. Для исследования закономерностей пространственного варьирования качества воды в прудах, на каждом из них проводились наблюдения с учетом функциональных зон территории, прилегающей к пруду. Отбор проб воды проводился на трех уровнях: с глубины 0-5 см, в середине толщи воды и в придонной части водоема. В качестве

основного метода биоиндикации использовали индекс сапробности Р. Пантле и Г. Букка в модификации М.В. Чертопруда (Чертопруд, 2022).

Личный вклад автора. Автор принимал активное участие во всех этапах исследования – от анализа проблемы и обоснования темы работы до обработки и интерпретации результатов полевых и лабораторных исследований, написания научных статей. Автором самостоятельно выполнены все экспериментальные полевые исследования и лабораторные анализы.

Апробация работы. Ключевые результаты работы были доложены на международных и российских конференциях: Конференция профессорско-преподавательского состава, посвященная 155-летию РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 2020); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов «Ломоносов 2021»; Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию Н.Н. Худякова (Москва, 2021); Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 135-летию А.Н. Костякова (Москва, 2022); Всероссийская конференция молодых исследователей «Аграрная наука» (Москва, 2022).

Публикации результатов исследований. По теме диссертации опубликованы 8 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 181 странице компьютерного текста; состоит из введения, 5 глав (обзор литературы, материалы и методы исследований, 3-х глав экспериментальной части), заключения с выводами и списка литературы. Работа содержит 68 таблиц, 51 рисунок. Список литературы включает 140 источников, в том числе 41 – на иностранном языке.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, профессору И.И. Васеневу и научному консультанту, доценту Е.Б. Таллеру за их помощь в проведении работы, ценные советы и рекомендации. Автор выражает глубокую благодарность всем сотрудникам, аспирантам и студентам кафедры экологии и лаборатории агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, своим друзьям и коллегам с других кафедр Университета, которые помогали в проведении полевых и лабораторных исследований по теме диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Обзор литературы: Экологические факторы качества воды прудовых экосистем.

Пресноводные экосистемы испытывают сильные воздействия многочисленных антропогенных факторов, включая органическое и неорганическое загрязнение, изменения в землепользовании водосборных территорий, влияющие на биоразнообразие гидробионтов (Navarro-Ortega, 2015; Brodsky, 2017; Joniak et al., 2017). Повышение температуры воды влечет уменьшение содержания кислорода в воде и приводит к существенным изменениям в составе гидробионтов, их метаболических процессах, общей продуктивности экосистем, влияет на фундаментальные экологические процессы (Куделькин, 2022).

В городских условиях, вблизи крупных промышленных объектов и транспортных магистралей часто существенно меняется химический состав осадков. Попадая в водоёмы, они изменяют рН воды, состав ее катионов и анионов, отрицательно влияют на гидробионты и их разнообразие (Деревенская, 2015; Данилов-Данильян, 2020; Румянцев и др., 2021). Малые экосистемы прудов значительно менее изучены, чем крупные водные экосистемы (Rickson et al., 2022), хотя вносят большой вклад в экологическое функционирование всего ландшафта (Аминжонова, Мустафаева, 2017; Цупикова, Севостьянова, 2021).

Нерациональное использование прудов нередко приводит к невосполнимым экологическим потерям, поскольку при восстановлении антропогенно загрязненных прудовых экосистем (Kramer, Tikhonova, 2015; Орлова и др., 2017) зачастую невозможно полностью вернуть их к исходному состоянию (Шабанова, 2016). Проблемное состояние более 400 прудов в Москве также, в первую очередь, связано с антропогенными нагрузками (Пукало, 2020). Химическое загрязнение поверхностных вод связано с попаданием в водоемы тяжелых металлов (часто – меди и железа), удобрений (прежде всего – нитратов и фосфатов) и углеводов (Kashulin et al., 2017; Карманова, 2020).

Экологический мониторинг прудов включает комплексную систему наблюдений, оценки и прогнозирования изменений состояния экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов (Апкин, Минакова, 2015; Бухтояров, 2015; Абдукадилова, Турапова, 2018). Во многих исследованиях свойств и состава воды в прудах показано их значительное варьирование по глубине, что определяет необходимость проведения наблюдений не менее, чем в трех вертикальных слоях (Богомоллов и др., 2021; Назмиев, Григорьева, 2019).

Экологический мониторинг водоёмов проводится с использованием биомониторинга (Беспалова и др., 2018; Borrego-Ramos et al., 2021). Биологические методы мониторинга состояния водного объекта позволяют решить задачи, которые не могут быть решены гидрофизическими и гидрохимическими методами (Баженова и др., 2018; Rodrigues et al., 2021). Одним из наиболее важных биоиндикаторов загрязнения воды в прудах является макрозообентос – организмы, которые обитают в донных отложениях (Sahidin et al., 2018; Abdelkarim, 2020; Матмуратов, 2022). В зависимости от степени сапробности в водоемах выделяются полисапробные, мезосапробные и олигосапробные зоны (Сиротюк, 2016; Калашникова и др., 2020; Ракутько и др., 2022). Для классической 4-балльной системы сапробности Кольквитца-Марссона разработан универсальный (применяемый на любых водоемах для оценки планктона и бентоса) индекс сапробности Пантле-Букка (Минакова и др., 2015). Для адаптации и массового применения в условиях России М.В. Чертопрудом (Чертопруд, 2022) была предложена его модификация с кратким определителем беспозвоночных пресных вод центра Европейской России.

Глава 2. Объекты и методы исследований

Исследования проводились в течение зимнего и летнего периодов 2020-2022 годов на пяти представительных прудах Северного административного округа Москвы: Большой Садовый, Нижний и Средний Фермские, Большой и Малый Головинские пруды (табл.2.1).

Большой Садовый пруд является модельным объектом для больших водоемов на севере Москвы, которые активно используется в рекреационных целях. Здесь можно проследить и влияние проходящей в непосредственной близости к пруду дороги с интенсивным автотранспортными движением.

На примере Большого Головинского пруда парка Михалково также можно оценить влияние рекреационной нагрузки – в сопоставлении с соседним Малым Головинским прудом меньшего размера и глубины. Фермские пруды на территории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева отличаются меньшей рекреационной нагрузкой, но соседством Нижнего Фермского пруда с опытными полями академии. На Средний Фермский пруд оказывает влияние дорога с интенсивным движением автотранспорта (Верхняя аллея).

2020 год характеризуется превышением средней за последние 10 лет годовой суммы осадков на 190 мм (25,5%) и температуры воздуха на 1,1°C. 2021 год – превышением суммы осадков на 134 мм (18%) и понижением

температуры на $0,5^{\circ}\text{C}$. 2022 год оказался близким к среднегодовым погодным условиям последних 10 лет, которые существенно теплее ($+1,2^{\circ}\text{C}$) и влажнее ($+33\text{ мм}$) средних погодных условий в Москве за предыдущие 30 лет.

Таблица 2.1. Характеристика исследуемых прудов Северного округа Москвы.

Пруды	Площадь акватории (га)	Средняя глубина (м)	Ширина (м)	Длина (м)	Основные функциональные зоны вокруг пруда
Большой Садовый	19	2	223	850	впадение реки Жабенки, исторический парк, пляжная зона, дорога с движением авто- и электро-транспорта
Нижний Фермский	1,5	2	60	240	пешеходная зона, учебные корпуса, опытные поля
Средний Фермский	1,4	1,3	60	222	пешеходная зона, учебные корпуса, дорога с активным движением автотранспорта
Большой Головинский	13,7	2,5	270	510	пляжная зона, зона плотины с водосбросом
Малый Головинский	3,6	2,2	120	300	рекреационная зона, парковая зона

Для исследования закономерностей пространственного варьирования качества воды в прудах, на каждом из них проводились сезонные наблюдения (зимой и летом) по закреплённым с учетом функциональных зон точкам (от 5 до 7 – рис. 2.1–2.5). Отбор проб воды проводился на трех уровнях: с глубины 0-5 см, в середине толщи воды и в придонной части водоема.



Рисунок 2.1. Схема отбора проб в акватории Большого Садового пруд



Рисунок 2.2. Схема отбора проб в акватории Среднего Фермского пруда



Рисунок 2.3. Схема отбора проб в акватории Нижнего Фермского пруда

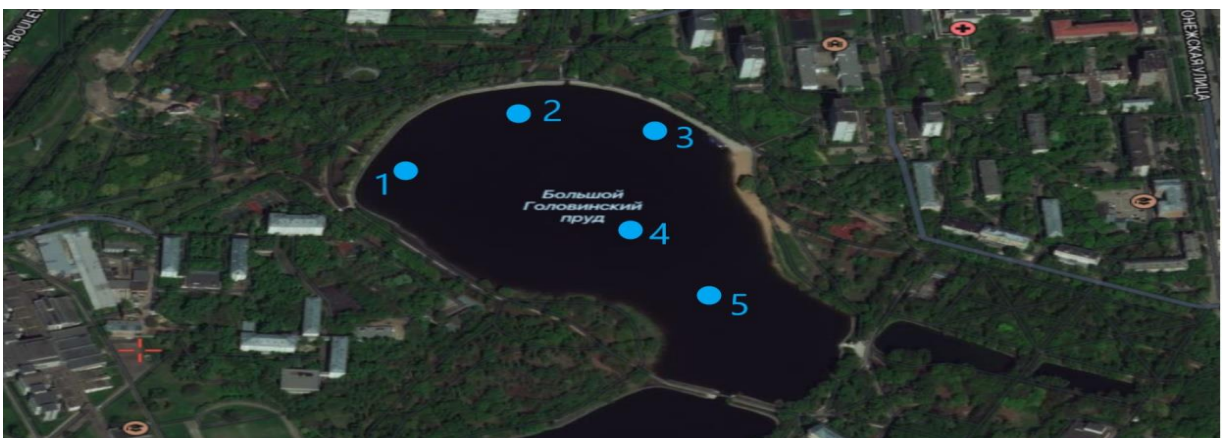


Рисунок 2.4. Схема отбора проб в акватории Большого Головинского пруда.



Рисунок 2.5. Схема отбора проб в акватории Малого Головинского пруда

Физические (температура), физико-химические (рН) и гидрохимические (содержание растворенного кислорода, аммонийного азота (NH_4^+) и нитритов (NO_2^-), хлоридов (Cl^-), меди (Cu^{+2}) и железа (Fe^{+2})) показатели качества воды определялись *in situ* и в лаборатории агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем (ЛАМП) на кафедре экологии – в соответствии с ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций», с использованием мобильного оборудования и спектрофотометра PCSpectro. Биоиндикация проводилась с анализом индекса сапробности Пантле-Букка в модификации М.В. Чертопруда (Чертопруд, 2022) по шкале оценки качества воды Кольквитц–Марссона (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Шкала экологической оценки качества воды по Кольквитцу – Марссону (Чертопруд, 2022)

Уровень загрязненности	Зоны	Индексы сапробности	Класс качества воды
Очень чистая	ксеносапробная	< 0.50	1
Чистая	олигосапробная	0.50-1.50	2
Умеренно загрязнённая	β -мезосапробная	1.51-2.50	3
Загрязнённая	α -мезосапробная	2.51-3.50	4
Грязная	полисапробная	3.51-4.00	5
Очень грязная	полисапробная	>4.00	6

Глава 3. Сезонная динамика физико-химических и гидрохимических показателей воды в трех вертикальных зонах исследуемых водоемов

Содержание растворённого кислорода в воде исследуемых прудов за три года наблюдений колебалась от 3,0 до 11,1 мг/л летом и от 7,9 до 15,2 мг/л зимой. В случае Большого Садового пруда наименьшие значения наблюдались летом 2022 года с близкими к среднемноголетним значениям погодными условиями: около 3 мг/л в придонном слое воды средней части пруда в зоне влияния популярного пляжа – при ярко выраженной вертикальной стратификации содержания растворённого кислорода (рис. 3.1).

Значения водородного показателя (рН) в воде Большого Садового пруда во все годы находились в диапазоне 6,86 – 8,87 летом и 6,60 – 8,90 зимой, изменяясь от нейтральной до слабощелочной и щелочной реакции среды (табл. 3.1). В ходе активного фотосинтеза летом реакция может становиться существенно более щелочной из-за исчерпания запасов углекислого газа в ней.

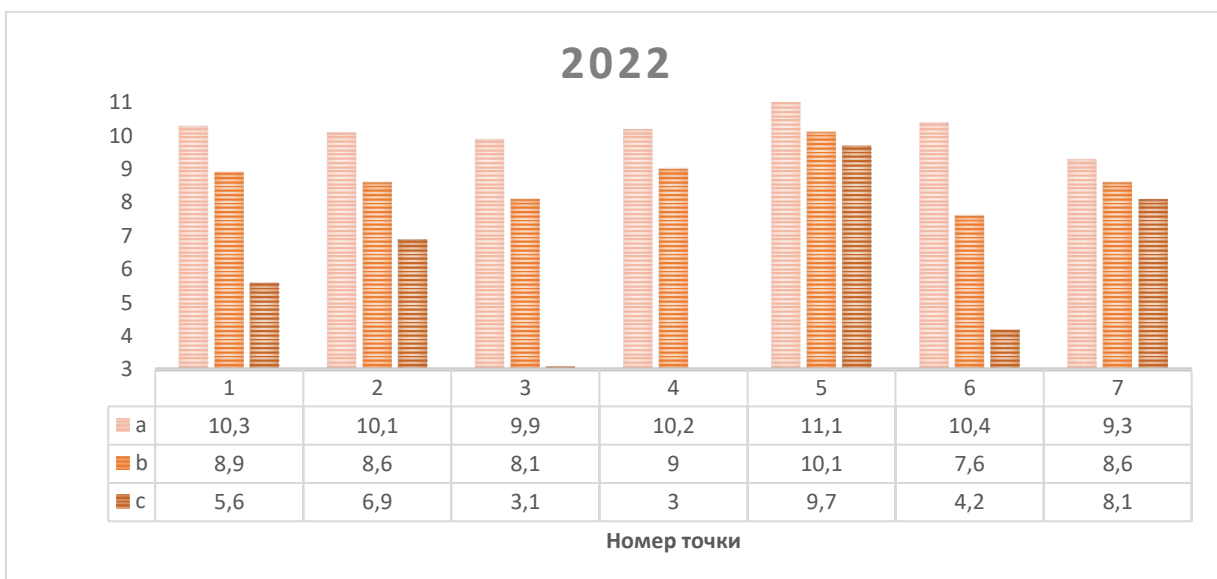
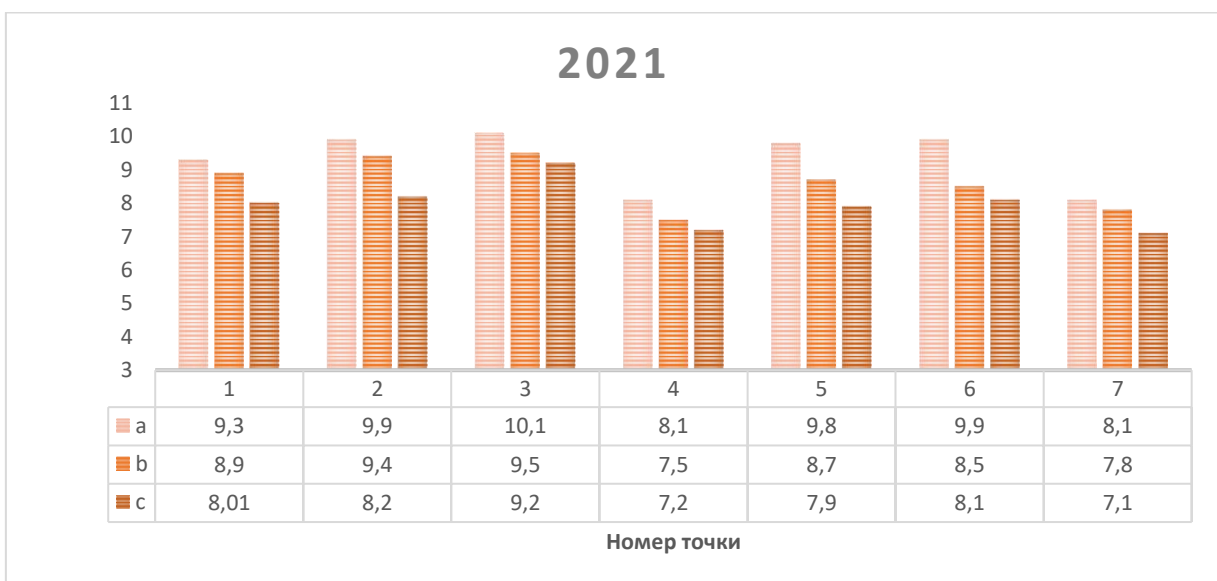
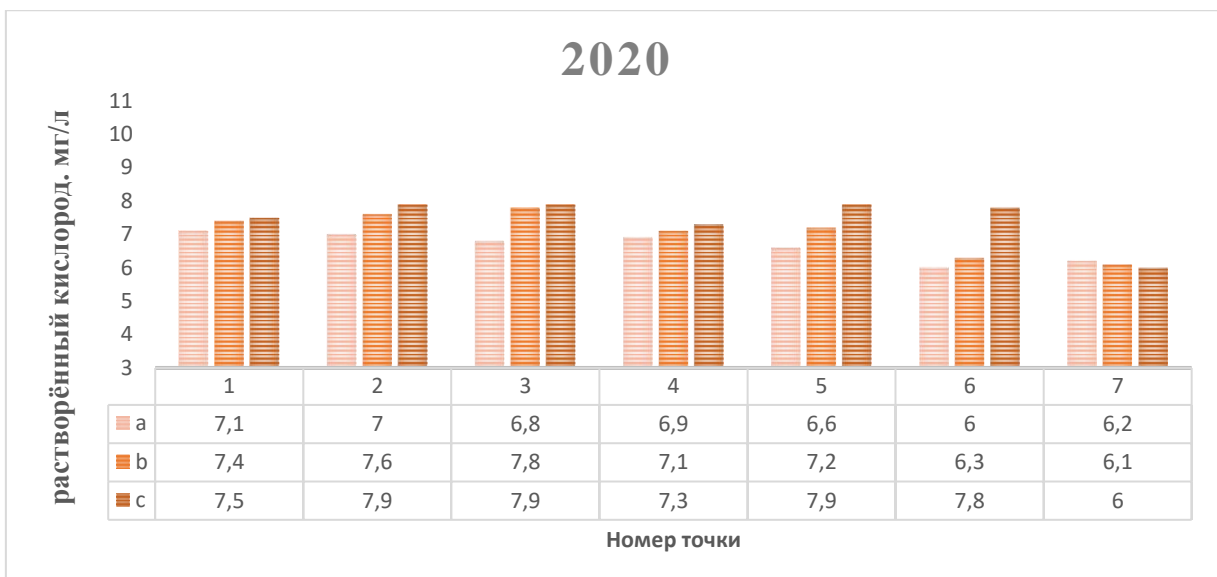


Рисунок 3.1. Содержание растворенного кислорода в трех вертикальных слоях воды Большого Садового пруда в летний период 2020–2022 гг. 1,2,3,4,5,6,7- точки наблюдения. 1 - верхняя часть пруда, 2-3-б - средняя часть пруда, 5- у парка, 4- у пляжа, 7- у плотины рядом с дорогой (см. рис. 2.1).

Таблица 3.1. Динамика водородного показателя (рН) воды в Большом Садовом пруду в летний и зимний периоды 2020–2022 гг.

№точки, условия	глубины	2020 г.		2021 г.		2022 г.	
		Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
1 верхняя часть пруда	a	8,15	7,9	8,67	8,9	7,7	7,8
	b	7,89	7,83	8,73	8,1	7,47	7,91
	c	8,01	7,91	8,71	8,4	7,49	8,01
2 средняя часть пруда	a	8,13	7,55	8,81	7,7	7,71	7,81
	b	7,84	7,7	8,42	6,9	7,28	7,91
	c	7,95	7,8	8,49	6,9	7,3	7,99
3 центральная часть пруда	a	7,9	7,75	8,76	6,9	7,46	7,82
	b	7,74	7,2	8,54	6,6	7,33	7,83
	c	7,88	7,4	8,8	6,6	7,06	7,86
4 в зоне влияния пляжа	a	8,17	7,86	8,79	8,1	7,51	7,79
	b	8,02	7,65	8,36	7,1	7,47	7,8
	c	7,98	7,71	8,13	6,6	6,95	7,81
5 у парка с большим опадом	a	8,2	7,89	8,79	7,2	7,57	7,75
	b	8,07	7,81	8,81	7,0	7,75	7,77
	c	7,91	7,9	8,28	6,7	7,73	7,79
6 центральная часть пруда	a	8,3	7,8	8,59	6,9	7,49	7,81
	b	7,8	7,69	8,6	6,9	6,89	7,86
	c	7,94	7,21	8,11	6,6	6,88	7,92
7 прилотинная часть пруда	a	8,1	8,1	8,87	6,9	7,06	8,1
	b	8,3	7,2	8,82	6,6	6,86	8,11
	c	8,1	6,8	8,03	8,7	7,06	8,16

Содержание аммонийного азота в воде за три года наблюдений изменялось от 0,10 до 1,3 мг/л (табл. 3.2), с локальным превышением ПДК для водоёмов рыбохозяйственного водопользования (0,5 мг/л) при значительном увеличении аммония в придонной части пруда. Максимальное значение содержания аммонийного азота наблюдается в зонах влияния пляжа, плотины с активным движением транспорта и большого опада старого лесопарка. Сезонная динамика содержания нитритов характеризуется преобладанием его снижения зимой, на фоне пониженной активности фитопланктона и способности диатомовых и зеленых водорослей восстанавливать нитраты до нитритов.

Концентрация хлоридов в воде пруда не превышала нормативы (300 и 350 мг/л), но имела кратную пространственную дифференциацию и динамику. Содержание меди в воде Большого Садового пруда в летний период варьирует

в диапазоне 2,3 – 5 мг/л, в зимний – 3,05 – 5,0 мг/л (рис. 3.2), что превышает ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (1 мг/л) и многократно – для рыбохозяйственных водоемов.

Таблица 3.2. Содержание аммонийного азота и нитритов в Большом Садовом пруду в летний и зимний периоды 2020-2022 гг.

№ точки	Глубины	Аммонийный азот (мг/л)						Нитриты (мг/л)					
		2020 г.		2021 г.		2022 г.		2020 г.		2021 г.		2022 г.	
		Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
1 верхняя часть пруда	a	0,11	0,21	0,12	0,31	0,49	0,38	0,02	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,03
	b	0,14	0,42	0,4	0,72	0,6	0,82	0,02	<0,01	0,03	<0,01	0,01	0,06
	c	1,2	0,20	0,54	0,11	0,78	0,05	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,04
2 средняя часть пруда	a	0,14	0,21	0,48	0,26	1,2	0,034	0,02	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,04
	b	0,14	0,48	0,27	0,52	0,6	0,52	0,02	<0,01	0,04	<0,01	0,01	0,05
	c	0,14	0,26	0,71	0,29	0,66	0,54	0,02	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,05
3 централь- ная часть	a	0,14	0,27	0,15	0,38	0,63	0,51	0,02	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,04
	b	0,10	0,16	0,71	0,12	0,6	1,2	0,02	0,01	0,04	<0,01	0,02	0,04
	c	1,2	0,38	0,75	0,45	1,2	1,3	0,02	0,02	0,03	0,05	<0,01	0,05
4 зона пляжа	a	0,10	0,16	0,21	0,25	0,48	0,63	0,02	<0,01	0,03	0,03	0,02	0,04
	b	0,15	0,15	0,2	0,27	0,46	0,87	0,02	<0,01	0,04	0,03	0,02	0,04
	c	0,10	0,31	1,3	0,39	1,3	0,45	0,02	<0,01	0,01	0,01	<0,01	0,05
5 у парка с опадом	a	0,13	0,22	0,21	0,21	0,53	0,65	0,02	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,04
	b	0,11	0,20	0,26	0,16	0,77	0,72	0,02	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,04
	c	0,14	0,17	0,35	0,11	0,62	0,81	0,02	0,01	0,03	<0,01	0,01	0,06
6 централь- ная часть	a	0,11	0,40	0,13	0,42	0,58	0,43	0,02	0,02	0,03	<0,01	0,04	0,03
	b	0,18	0,37	0,2	0,39	0,58	0,84	0,02	<0,01	0,04	0,04	<0,01	0,06
	c	0,11	0,11	0,97	0,15	1,3	1,3	0,02	0,01	0,04	0,05	<0,01	0,06
7 приплотин- ная часть	a	0,13	0,34	0,43	0,36	0,52	0,73	0,02	<0,01	0,04	<0,01	0,02	0,04
	b	0,12	0,18	0,5	0,21	0,5	0,72	0,02	<0,01	0,05	<0,01	0,02	0,03
	c	0,35	0,16	1,2	0,19	0,54	1,2	0,03	<0,01	0,05	0,01	0,01	0,05

Максимальные концентрации меди наблюдается в придонном слое зоны влияния плотины с дорогой и активным движением электротранспорта, где содержание меди летом варьирует от 4,4 мг/л в 2020 и 2021 гг. до 5 мг/л в 2022. Там же и в придонном слое зоны влияния пляжа фиксировалась максимальная концентрация в воде железа: 1,2 мг/л в 2022 году – при санитарной норме 0,3 мг/л, что еще раз подтверждает доминирование антропогенных факторов в определении гидрохимического состояния воду в прудах Москвы.

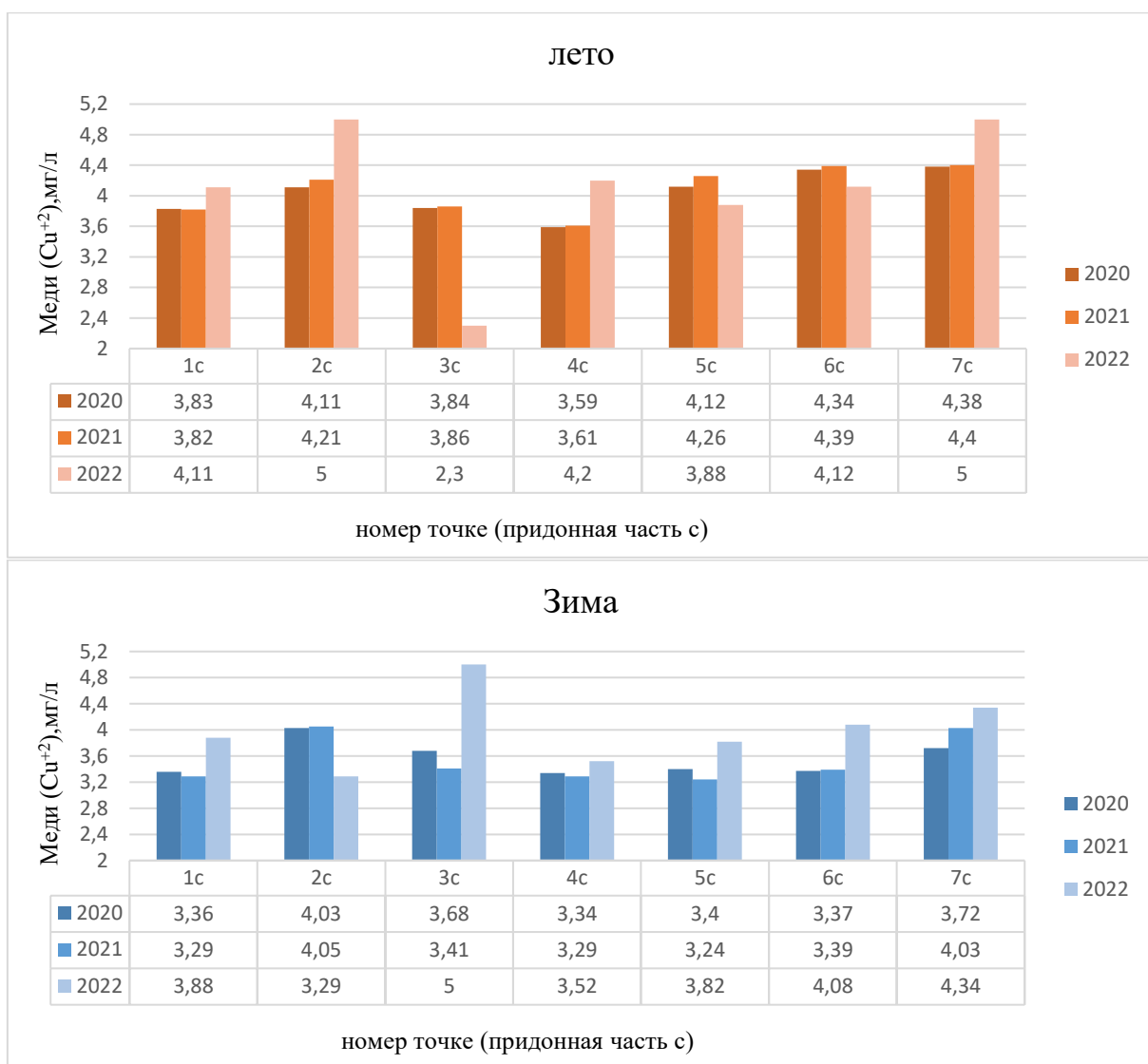


Рисунок 3.2. Содержание меди в придонной части Большого Садового пруда в зимний и летний периоды 2020-2022 гг.

1,2,3,4,5,6,7- точки наблюдения. 1 - верхняя часть пруда, 2-3-6 - средняя часть пруда, 5- у парка, 4- у пляжа, 7- у плотины рядом с дорогой.

В Среднем Фермском пруду наименьшее содержание растворенного кислорода (6,1 мг/л) наблюдалась летом 2020 г. в приплотинной части пруда, примыкающей к Верхней аллее с активным движением автотранспорта. Зимой здесь преобладала слабощелочная реакция среды (с рН 7,01 – 8,63), а летом на фоне активной эвтрофикации наблюдалось выраженное подщелачивание вплоть до рН 11,08 в приплотинной части пруда, рядом с Верхней аллеей. При рН выше 9,0 в пруду отмечалось обилие нитчатых водорослей, которые отрицательно влияют на гидробионты и экосистему водоёма.

Наибольшее содержание аммонийного азота в Среднем Фермском пруду (1,4) мг/л наблюдалось в летний период в придонном слое вблизи пешеходной зоны Лиственничной аллеи с постоянным присутствием уток. Максимальное

содержание хлорид-анионов (до 25 мг/л) в зимнее время фиксировалось у Верхней аллеи с активным применением антигололедных реагентов, летом – вблизи наиболее активной рекреационной зоны. Здесь же отмечалось наиболее высокое содержание меди (до 3,9-4,5 мг/л) в верхнем слое воды и железа (1,3 мг/л) в придонной части водоема.

Значение pH в Нижнем Фермском пруду летом варьировали в широком диапазоне от 6,11 до 10,85, реагируя на неизбежный смыв с соседних полей и отражая активное развитие гидробионтов. Зимой, в основном, преобладали более узкие условия слабощелочной среды с pH от 7,11 до 8,20. Аналогично, содержание аммонийного азота характеризовалось наиболее высоким пространственным разнообразием и выраженной сезонной динамикой от 0,02 до 1,4 мг/л, с максимальными значениями летом 2021 года: 0,98 - 1,4 мг/л – при устойчивом превышении ПДК по всей акватории и глубине пруда (рис. 3.3).

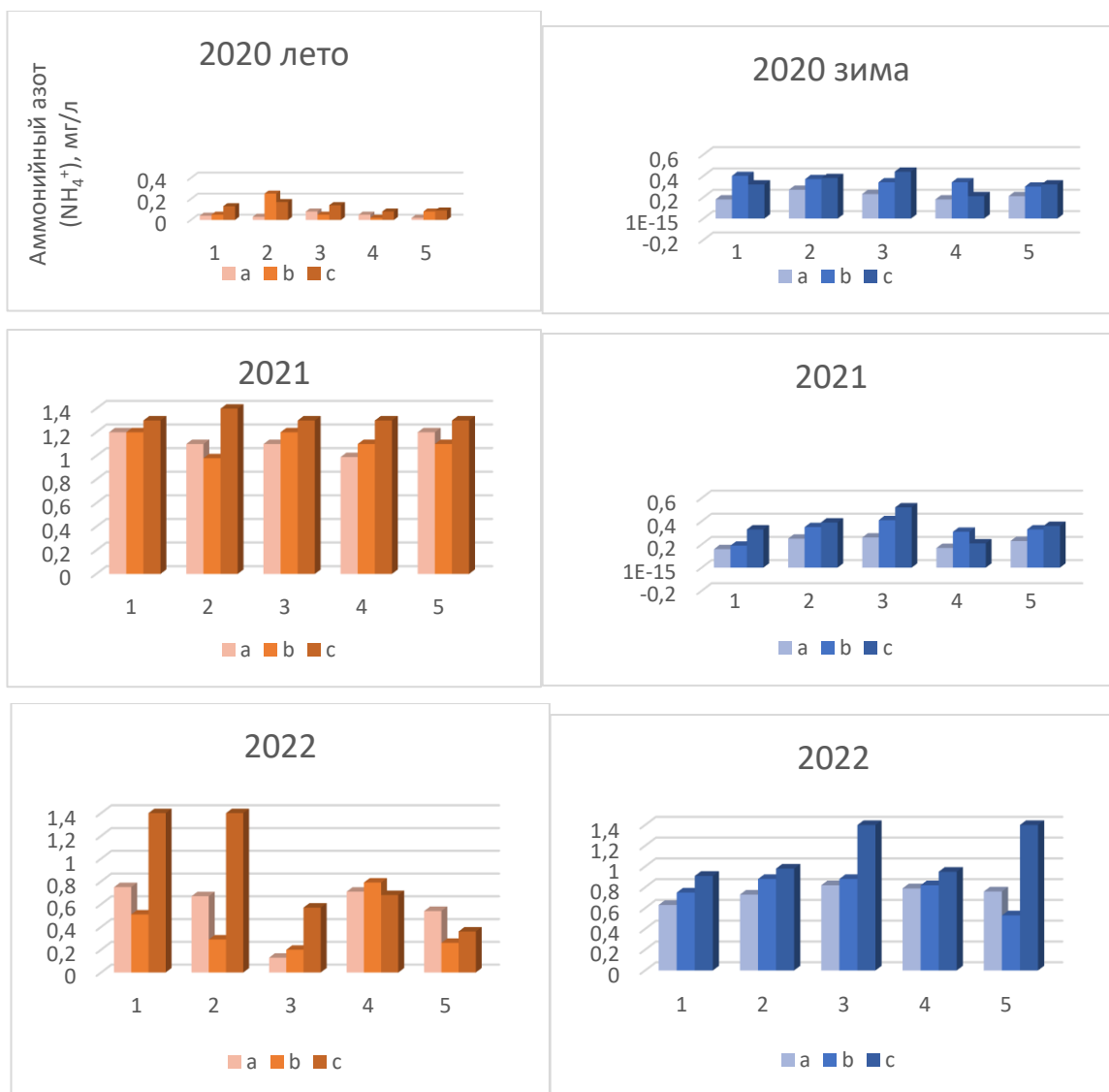


Рисунок 3.3. Содержание аммонийного азота в Нижнем Фермском пруду в зимний и летний периоды 2020–2022 гг.

Максимальное содержание хлоридов (26 мг/л) наблюдалось летом в верхнем слое воды вблизи рекреационной зоны и в приплотинной части пруда у Лиственничной аллеи с активным пешеходным движением. Максимальное содержание меди – в самой нижней точке акватории у поверхности воды (4,31 мг/л) в зимний период, железа – вблизи берега с опытными полями (1,3 мг/л) и берега, где находятся механические мастерские.

В Большом Головинском пруду максимальное содержание растворенного кислорода наблюдалось в поверхностных слоях воды зимой при минимальной температуре воды в 0,2°C. Повышение температуры воды в средних и придонных слоях воды до 3-4°C сопровождалось снижением содержания растворенного кислорода на 1,5–2,0 мг/л. Водородный показатель варьировал значительно меньше, чем в Фермских прудах: в диапазоне 8,04 - 9,92 летом и 6,13 - 7,91 – зимой, отражая общую тенденцию летнего аэрогенного и биогенного подщелачивания воды.

Наибольшее содержание аммонийного азота наблюдалось летом 2021 года (1,0 – 1,5 мг/л) по всей акватории водоема и зимой 2022 года (1,5 мг/л) в придонных слоях воды вблизи плотины с водосбросом и в центральной части пруда в 135 метрах от рекреационной зоны, что связано с процессами перераспределения и разложения органических веществ на дне пруда. Там же наблюдалось максимальное содержание хлоридов (26 мг/л), как правило, более высокое зимой. Концентрация меди летом изменялась в диапазоне от 2,99 до 4,92 мг/л, зимой варьировала от 3,22 до 5,0 мг/л – при максимальных значениях вблизи плотины с водосбросом. Концентрация железа не превышала 0,35 мг/л, с максимумом в придонном слое воды центральной части пруда.

Минимальные значения растворенного кислорода в Малом Головинском пруду устойчиво наблюдались летом в центральной части пруда у дна с повышенным количеством органики и составляли 5,2 мг/л в 2020 г., 4,9 мг/л в 2021 г. и 3,9 мг/л в 2022 г. Значения водородного показателя pH варьировали в относительно нешироком диапазоне от 7,71 до 9,94 летом и от 7,41 до 8,87 – зимой, диагностируя устойчиво слабощелочную и щелочную реакцию воды.

Максимальные концентрации аммонийного азота (до 1,3 мг/л) наблюдались летом 2021 года в придонной части пруда, при общем варьировании за трехлетний период наблюдений от 0,05 до 1,3 мг/л. Максимальное содержание хлоридов (26,9 мг/л) было отмечено в центральной части пруда вблизи берега и пешеходной дорожки в нижней части пруда рядом с мостом. Здесь наиболее

вероятно попадание в водоём противогололедных реагентов, применяемых на пешеходной дорожке в парке и на мосту. Содержание меди в летний период варьировало в диапазоне от 3,03 до 5,0 мг/л, в зимний – от 3,39 до 5,0 мг/л, что значительно превышает ПДК. Содержание железа (от 0,18 до 0,87 мг/л) превышало ПДК в придонном слое всего водоема летом 2020 года, с максимальным количеством осадков и латеральным выносом соединений железа из зональных дерново-подзолистых почв (Рамадан, 2021).

Глава 4. Экологическая оценка сапробности изучаемых водоемов

В соответствии со значениями индекса сапробности (I) воды в Большом Садовом пруду она во всех точках наблюдения летом 2021 и 2022 г.г. относится к третьему и четвертому классам качества – загрязнённая и умеренно (слабо) загрязнённая (табл. 4.1). Максимальные значения (до 2,72) наблюдаются в зонах влияния Исторического парка, пляжа и в верхней части пруда, вблизи впадения реки Жабенки, которая несет повышенное количество органики от листопада и бокового стока лесопарка.

Таблица 4.1. Экологическая оценка качества воды Большого Садового пруда в 2021 и 2022 годах по индексу сапробности.

№ точки	Положение точек отбора проб макрозообентоса	2021 г.		2022 г.	
		Индекс сапробности (I)	Зоны и уровень загрязнённости	Индекс сапробности (I)	Зоны и уровень загрязнённости
1с	верхняя часть пруда, вблизи впадения реки Жабенки	2,72	Загрязнённая α-Мезосапробная	2,59	Загрязнённая α-Мезосапробная
2с	верхняя часть пруда, вблизи парка	2,69	Загрязнённая α-Мезосапробная	2,60	Загрязнённая α-Мезосапробная
3с	центральная часть пруда вблизи пляжа	2,44,	Умеренно (слабо) Загрязнённая β-Мезосапробная	2,55	Загрязнённая α-Мезосапробная
4с	центральная часть пруда вблизи парк	2,60	Загрязнённая α-Мезосапробная	2,61	Загрязнённая α-Мезосапробная
5с	приплотинная часть пруда, рядом с дорогой с активным движением авто- и электротранспорта	2,29.	Умеренно (слабо) Загрязнённая β-Мезосапробная	2,41	Умеренно (слабо) Загрязнённая β-Мезосапробная

Максимальные для Среднего Фермского пруда значения индекса сапробности (2,74 и 2,78) зафиксированы в его нижней части (рис. 4.1) у водо-

сброса перед плотиной на интенсивно пешеходной Лиственничной аллее, где вода относится к четвертому классу качества – «загрязненная», и отмечается повышенное количество уток.

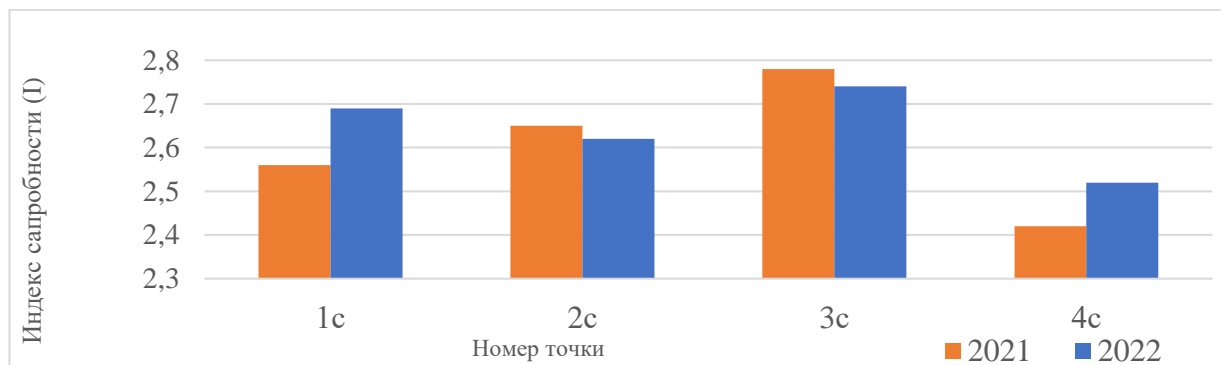


Рисунок 4.1 Значения индекса сапробности Среднего Фермерского пруда

Точки наблюдения: 1с, 4с – рядом с проезжей частью Верхней аллеи, 2с, 3с – вблизи переходной Лиственничной аллеи.

Максимальные значения индекса сапробности (2,70 – 2,75) в Нижнем Фермском пруду (рис. 4.2) приурочены к зонам влияния опытных сельскохозяйственных полей Тимирязевской академии с латеральным поступлением органики и минерального азота с поверхностным и внутрипочвенным стоком, что хорошо согласуется и с данными гидрохимического состояния пруда. Загрязнённая вода относится к α -Мезосапробной зоне.

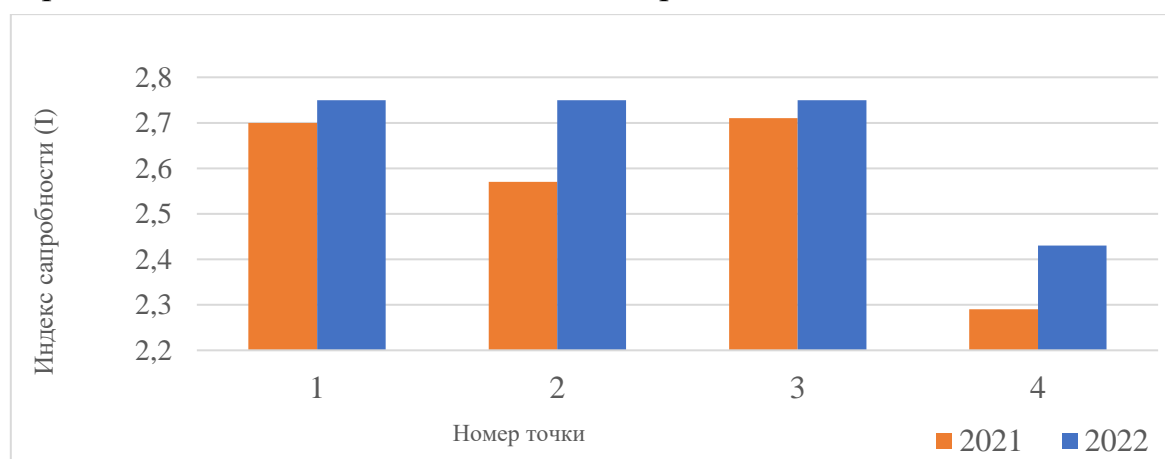


Рисунок 4.2 Значение индекса сапробности Нижнего Фермского пруда

Точки наблюдения: 1с, 3с – вблизи опытных полей, 2с, 4с – вблизи рекреационной зоны.

Максимальные значения индекса сапробности (2,67 – 2,81) в акватории Большого Головинского пруда (рис. 4.3) приурочены к зоне влияния пляжа с повышенной рекреационной нагрузкой и наиболее выраженным поверхностным стоком, что также хорошо согласуется и с данными гидрохимического состояния пруда. Загрязнённая вода относится к α -Мезосапробной зоне.

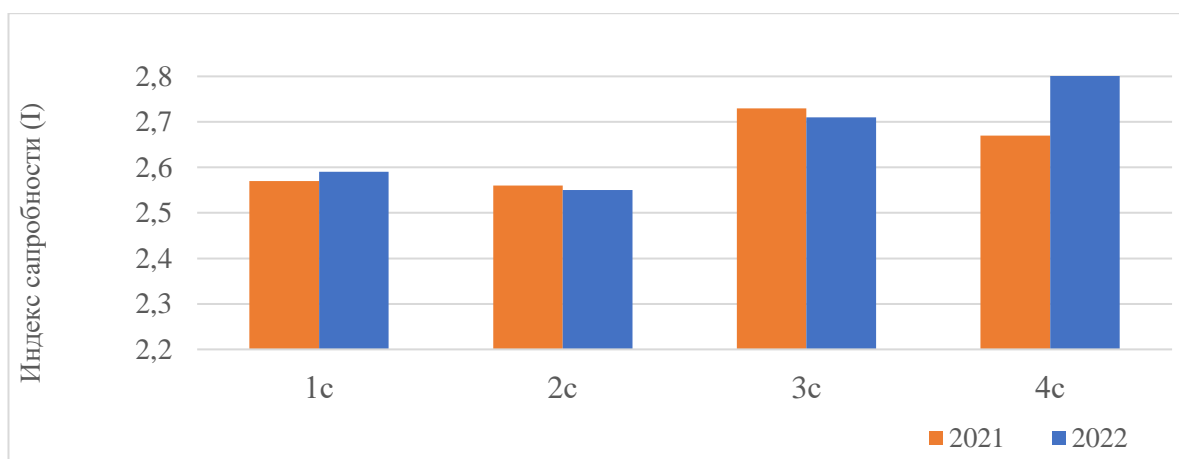


Рисунок 4.3. Значение индекса сапробности Большого Головинского пруда
 Точки наблюдения: 1с- приплотинная часть пруда, 2с- вблизи берега, 3с- у пляжа и рекреационной зоны, 4с- между плотиной и пляжем.

Малый Головинский пруд характеризуется меньшей дифференциацией сапробности между различными зонами акватории. Минимальное значение индекса сапробности зафиксировано в центральной части пруда, вблизи пешеходной дороги, проходящей по берегу водоёма (2,50), а максимальные значения в нижней части пруда, вблизи пешеходного моста, а также вблизи берега с зелёными насаждениями (2,65), где загрязнённая вода соответствует α -Мезосапробной зоне и IV классу чистоты.

Глава 5. Сравнительная экологическая оценка качества водоёмов с анализом лимитирующих экологических факторов

Местоположение и размер пруда, характер функционального использования соседних наземных элементов ландшафта, вертикальные слои воды, сезонная динамика и погодные условия являются наиболее важными экологическими факторами, влияющими на качество воды исследуемых прудовых экосистем (табл. 5.1).

Самые высокие уровни загрязнения обнаружены в Нижнем Фермском пруду в зоне влияния опытных полей. Латерально поступающие с полей удобрения, органическое вещество и илистые частицы почвы являются основными источниками загрязнения, накапливаемыми в придонном слое воды. На качество воды Большого Головинского пруда влияет рекреационная зона с песчаным пляжем и лодочной станцией на берегу: вблизи этой зоны вода наиболее загрязненная по сравнению с другими прудами.

Таблица 5.1 Экологическая оценка уровня загрязнения различных функциональных зон прудов

Пруды	Зоны	Индекс сапробности	уровень загрязнённости
Нижний Фермский пруд	зона вблизи опытными полями	2,73	Загрязнённая
	приплотинная зона пруда, рядом с дорогой	2,73	Загрязнённая
	рекреационная зона	2,44	Умеренно (слабо) Загрязнённая
Большой Головинский пруд	рекреационная зона	2,72	Загрязнённая
	приплотинная зона	2,58	Загрязнённая
Большой Садовый пруд	зона впадения реки Жабенки	2.65	Загрязнённая
	зона вблизи Исторического парка	2,63	Загрязнённая
	рекреационная зона	2.49	Умеренно (слабо) Загрязнённая
	приплотинная зона пруда, рядом с дорогой	2,35	Умеренно (слабо) Загрязнённая
Средний Фермский пруд	приплотинная зона пруда, рядом с дорогой	2,63	Загрязнённая
	рекреационная зона	2,62	Загрязнённая
Малый Головинский пруд	рекреационная зона	2,63	Загрязнённая

Содержание растворенного кислорода, аммонийного азота, железа и меди имеют значительное варьирование по трем исследованным слоям воды водоемов. Характерной особенностью всех придонных слоев воды изучаемых прудов является более низкое содержание растворённого кислорода – по сравнению с вышележащими слоями воды во все периоды наблюдения (табл. 5.2). Концентрация растворённого кислорода в пруду, в значительной мере, определяется температурой воды и процессами перемешивания водной толщи.

Зимой, когда поверхность сковывает лед, а перемешивание отсутствует самая холодная вода находится непосредственно подо льдом (1–2°C), а ниже она теплее (4–5°C), и с повышением температуры в придонной части воды содержание растворенного кислорода уменьшается.

Таблица 5.2 Содержание растворенного кислорода в трёх слоях воды прудов

Пруды (n - повторность измерений в акватории пруда)	Содержание растворенного кислорода (мг/л)					
	Поверхностная часть (a)		Средняя часть (b)		Придонная часть (c)	
	лето	зима	лето	зима	лето	зима
Большой Садовый (21)	8,7±0,6	13,5±1,2	8,1±1,0	12,1±0,9	7,1±1,7	11,6±1,3
Нижний Фермский (15)	10,7±0,5	11±1,9	10,0±0,6	10,7±1,3	8,1±1,4	10,2±1,5
Средний Фермский (15)	9,8±1,4	11±2,0	9,0±1,2	10,7±1,3	7,7±1,3	10,3±0,8
Большой Головинский (15)	9,3±1,1	10,9±1,9	8,0±0,9	10,9±1,3	6,2±1,2	10,3±1,2
Малый Головинский (12)	7,6±0,4	11,5±1,6	6,6±0,4	10,9±0,6	5,9±1,3	10,6±0,9

Высокие концентрации биогенных элементов (прежде всего, азота в форме аммония), а также микроэлементов (железо и медь) фиксируются в придонной части пруда (табл. 5.3). Различия между разными вертикальными слоями воды наиболее ясно проявляются в концентрациях аммонийного азота и железа, с меньшими различиями в случае меди. Аммоний образуется в результате процессов разложения органических веществ в воде, которые происходят в нижних слоях, близких к дну, поэтому концентраций его в придонной части пруда существенно больше, чем содержание в верхних слоях водоёма.

Таблица 5.3 Экологическая оценка качества воды на различных глубинах пруда по гидрохимическим показателям ($M \pm \delta$).

Пруды (n- повторность измерений в акватории пруда)	Поверхностная часть (a)			Средняя часть (b)			Придонная часть (c)		
	NH ₄ ⁺ мг/л	Fe ⁺² мг/л	Cu ⁺ мг/л	NH ₄ ⁺ мг/л	Fe ⁺² мг/л	Cu ⁺ мг/л	NH ₄ ⁺ мг/л	Fe ⁺² мг/л	Cu ⁺ мг/л
Большой Садовый (21)	0,36 ±0,20	0,21 ±0,13	3,8 ±0,40	0,42 ±0,24	0,21± 0,11	3,8 ±0,67	0,58 ±0,37	0,65 ±0,37	3,9 ±0,76
Нижний Фермский (15)	0,48 ±0,38	0,27 ±0,15	3,6 ±0,35	0,51 ±0,36	0,23 ±0,14	3,5 ±0,27	0,70 ±0,49	0,38 ±0,30	3,6 ±0,26
Средний Фермский (15)	0,47 ±0,35	0,18 ±0,07	3,6 ±0,31	0,50 ±0,36	0,21 ±0,11	3,6 ±0,28	0,62 ±0,40	0,41 ±0,37	3,5 ±0,30
Большой Головинский (15)	0,52 ±0,35	0,15 ±0,06	3,7 ±0,37	0,55 ±0,42	0,12 ±0,05	3,7 ±0,36	0,66 ±0,48	0,39 ±0,12	3,8 ±0,49
Малый Головинский (12)	0,53 ±0,41	0,19 ±0,08	3,8 ±0,43	0,58 ±0,43	0,18 ±0,09	3,7 ±0,36	0,62 ±0,42	0,54 ±0,38	3,9 ±0,48

Важным экологическим фактором, влияющим на качество воды во всех исследуемых прудах являются сезоны наблюдения. С сезонной динамикой

температуры воды и погодных условий тесно связано содержание растворенного кислорода (табл. 5.4). Оно устойчиво уменьшается с повышением температуры летом – по сравнению с его содержанием зимой, что связано с повышением интенсивности процессов окисления и разложения органических веществ летом и увеличением потребления растворенного кислорода.

Таблица 5.4 Экологическая оценка сезонной динамики качества воды прудов по содержанию растворенного кислорода и водородному показателю

Годы	Пруды (n- повторность измерений в акватории пруда)	Водородный показатель (рН)		Растворенный кислород (мг/л)	
		лето	зима	лето	зима
2020	Большой Садовый (21)	8,0±0,15	7,7±0,31	7,1±0,64	12,2±1,05
	Нижний Фермский (15)	7,2±0,49	7,7±0,38	9,6±1,78	10,5±0,63
	Средний Фермский (15)	8,6±0,60	7,7±0,26	7,8±0,91	10,0±0,70
	Большой Головинский (15)	8,3±0,30	7,4±0,26	7,1±0,97	9,8±0,55
	Малый Головинский (12)	8,1±0,13	7,6±0,12	6,7±0,81	10,6±0,64
2021	Большой Садовый (21)	8,6±0,25	7,3±0,72	8,6±0,91	12,3±1,16
	Нижний Фермский (15)	8,2±0,37	7,7±0,35	9,3±0,97	9,1±0,85
	Средний Фермский (15)	8,2±0,37	8,3±0,19	8,5±0,95	9,7±0,72
	Большой Головинский (15)	8,5±0,33	7,4±0,24	8,3±1,28	9,7±0,54
	Малый Головинский (12)	8,3±0,39	7,6±0,05	6,8±0,96	10,2±0,47
2022	Большой Садовый (21)	7,3±0,29	7,9±0,12	8,2±2,34	12,5±1,90
	Нижний Фермский (15)	10,4±0,33	7,6±0,32	10,0±1,41	12,3±1,12
	Средний Фермский (15)	10,6±0,30	7,7±0,24	10,2±1,48	12,3±1,21
	Большой Головинский (15)	9,4±0,35	7,3±0,62	8,0±2,28	12,6±1,03
	Малый Головинский (12)	9,0±0,28	8,1±0,29	6,6±1,34	12,2±1,10
Среднее значение		8,2±0,92	7,7±0,27	8,1±1,16	10,5±1,24

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования экологического качества воды в представительных водоемах северной части Москвы показали значительное пространственное варьирование большинства исследованных показателей как по акватории пруда, так и по глубине водоема, достигающее кратных перепадов в случае содержания аммония и ярко выраженное по содержанию хлоридов, железа, меди и сапробности.

1. Содержание растворенного кислорода тесно связано с глубиной и температурой воды в исследуемых прудах. Зимой оно значительно больше, чем летом. В летний период его содержание, как правило, выше в приповерх-

ностном слое воды и заметно снижается в придонной части водоема.

2. Характерное для Москвы антропогенное подщелачивание реакции среды в меньшей степени проявляется в центральной части прудов с максимальной глубиной. Отмечается заметная дифференциация рН по разным функциональным зонам. Наиболее высокие значения рН наблюдаются в Фермских прудах, которые испытывают влияние опытных полей или дороги с интенсивным движением, и в рекреационных зонах крупных водоёмов (Большой Садовый и Головинские пруды). Года с повышенным количеством осадков характеризуются смещением реакции среды в сторону нейтральной.

3. Максимальная концентрация аммонийного азота и нитритов значительно увеличивается в зоне воздействия пляжа с повышенной рекреационной нагрузкой и в зоне влияния опытных сельскохозяйственных полей с максимальной биогенной нагрузкой. При этом их содержание четко дифференцировано по сезону: с наибольшим содержанием биогенных элементов летом при повышении интенсивности процессов разложения органических веществ с увеличением температуры.

4. Лимитирующим экологическим фактором загрязнения воды прудов является устойчивое превышение ПДК по содержанию железа и, особенно, меди. Они характеризуются высокой пространственно-временной изменчивостью (при наибольшей концентрации в придонных слоях водоемов), что обычно является признаком актуальных процессов загрязнения и требует дальнейшего исследования с разработкой рекомендаций по применению наилучших доступных технологий очистки воды и предупреждению новых поступлений катионов железа и меди.

5. Пространственная дифференциация сезонной динамики основных гидрохимических показателей влияет на состояние макрозообентоса прудов. Все изучаемые пруды являются α -мезосапробными и β -мезосапробными, по шкале классификации загрязненности водоёмов соответствуют третьему и четвёртому классу, вода умеренно (слабо) загрязнённая и загрязнённая. Класс α -мезосапробного загрязнения зафиксирован в функциональных зонах парка, впадения реки Жабенки в Большой Садовый пруд, воздействия опытных полей на Нижний Фермский пруд и зоне влияния дороги с интенсивным движением на Средний Фермский пруд, в рекреационных зонах Головинских прудов.

6. Полученные результаты показывают важное значение местоположения, глубины и площади зеркала прудов для сохранения качества их воды в

условиях Москвы. Не достигающее предельно допустимых концентраций по большинству показателей, но ярко выраженное даже в условиях одного из самых экологичных районов города антропогенное загрязнение воды актуализирует задачи по дальнейшему снижению и регулированию уровня техногенной нагрузки на прилегающих к городским водоемам территориях.

Список работ, опубликованных по теме диссертации;

Журналы из списка, рекомендованных ВАК:

1. Рамадан Рита. Экологическая оценка качества воды Среднего и Нижнего Фермских прудов на территории РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Р. Рамадан, Е.Б. Таллер, И.И. Васенев // Проблемы региональной экологии. – 2022. – № 3. – С 9-20.

2. Рамадан Рита. Экологическая оценка состояния качества воды Большого Садового пруда / Р. Рамадан, Е.Б. Таллер, И.И. Васенев // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022. – № 1.

Статьи в сборниках и тезисы:

1. Ramadan Rita. Seasonal dynamics of the functional quality of different vertical levels of small water ecosystems in Moscow/Rita Ramadan // Доклады ТСХА: Сборник статей / Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва – 2020. – Т. 1. С. 437-440.

2. Таллер Е. Б. Адвентивный вид *Pistia Stratiotes* L. (ARACEAE) в прудах Москвы / Е.Б. Таллер, А.В. Командирова, Рита Рамадан // Доклады ТСХА: Сборник статей. – 2021. – Выпуск 293. – Часть 4. – С. 437-439.

3. Рамадан Рита. Растворенный кислород как важнейший биогидрохимический показатель качества воды / Рита Рамадан // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов «Ломоносов 2021». – 2021. – С. 313-315.

4. Ramadan Rita. Environmental monitoring of water ponds / Rita Ramadan // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов «Ломоносов 2021». – 2021. – С. 278-279.

5. Рамадан, Рита. Оценка качества воды в Большом Головинском пруду в летний период / Рита Рамадан // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова. – 2022. – С. 143-147.

6. Рамадан Рита. Оценка качества воды в Большом Головинском пруду по биологическими показателям/ Рита Рамадан // Аграрная наука – 2022: Материалы Всероссийской конференции молодых исследователей. – Москва: РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2022.