



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра водных биоресурсов, аквакультуры и гидрохимии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(Бакалаврская работа)

На тему «Разработка информационной системы и оценка
экологического состояния водных объектов Ижорского плато и их
влияние на работоспособность фонтанов Петергофа»

Направление подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и
аквакультура, профиль «Управление водными биоресурсами и
аквакультура»

Исполнитель Машарова Анна Александровна

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Хаустов В.А., к.т.н.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

**Заведующий кафедрой Королькова С.В.,
к.т.н.**

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

« » 2025 г.

Санкт-Петербург

Содержание

Введение	6
Глава 1. Описательная характеристика Ижорского плато	8
1.1. Геологические особенности	9
1.2. Гидрологическая характеристика	9
1.3. Месторождение подземных вод Ижорского плато	13
1.4. Антропогенное воздействие на качество водных ресурсов.....	15
1.5. Климатические особенности	18
Глава 2. Экспериментальная часть.....	21
2.1. Отбор проб.....	21
2.2. Характеристика основных гидрохимических показателей	22
2.2.1. Определение температуры.....	23
2.2.2. Определение запаха.....	23
2.2.3. Определение цветности	25
2.2.4. Определение мутности.....	26
2.2.5. Определение водородного показателя (pH)	27
2.2.6. Определение удельной электропроводности	29
2.2.7. Определение минерализации.....	31
2.2.8. Определение гидрокарбонатов	33
2.2.9. Определение железа	35
2.2.10. Определение фосфатного фосфора	38
2.2.11. Определение нитритного азота.....	40
2.2.12. Определение аммония.....	43
Глава 3. Обобщение экспериментальной части.....	46

Глава 4. Влияние основных параметров исследуемых водных объектов на функционирование фонтанов Петергофа	52
4.1. История фонтанной системы Петергофа	52
4.2. Гидрология Ижорского плато и Петергофская водоподводящая система	55
4.3. Выезд на встречу с представителем экологического направления в Государственном музее заповеднике «Петергоф»	57
Заключение	59
Выводы	59
Список литературы:	61

Введение

Актуальность темы ВКР состоит в том, что в настоящее время проблемам экологии отведено значительное место в жизни людей, так как все мы находимся в тесной зависимости с природными процессами и явлениями.

В связи с интенсивным освоением природных ресурсов рациональная эксплуатация водных объектов и охрана их от загрязнения приобретает всё большее значение. Близость к городу, рост населения и освоение водоёмов Ижорского плато в хозяйственных и рекреационных целях могут послужить причиной возникновения неблагоприятных последствий, как для самих водных объектов, так и для памятников исторического и культурного наследия. Изменение гидрохимического и гидрологического режимов данных водных объектов может поставить под угрозу работоспособность фонтанов Петергофа.

Совместно с Государственным Гидрологическим институтом планируется восстановить мониторинговые наблюдения за водными объектами Ижорского плато, используя ретроспективные и новые, полученные по итогам полевых работ, данные, построить прогнозы будущих возможных изменений гидрохимических и гидрологических характеристик.

Цель: оценить экологическое состояние водных объектов Ижорского плато и определить их влияние на работоспособность фонтанов Петергофа.

Задачи:

1. Изучить особенности геологического и гидрологического режима водных объектов Ижорского плато.
2. Выяснить степень антропогенной нагрузки на качество водных ресурсов Ижорского плато.
3. Произвести выездные работы на объекты и отобрать пробы воды для проведения гидрохимического анализа с целью определения качества воды водных объектов.
4. Рассмотреть особенности работы Петергофской водоподводящей системы с целью выявления значения водных объектов Ижорского плато в

питании фонтанного комплекса Петергофа, а также определить влияние климатических условий на данные водные объекты.

5. Организовать выезд на встречу с представителем экологического направления в Государственном музее заповеднике «Петергоф» и оценить будущее экологическое состояние фонтанного комплекса.

Объект исследования: экологическое состояние водных объектов Ижорского плато.

Предмет исследования: водные объекты Ижорского плато.

Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Структура логически выстроена и обеспечивает целостное раскрытие темы:

Введение раскрывает актуальность, цель и задачи работы, объект и предмет исследования.

Глава 1 содержит подробный анализ предметной области: описание геологических особенностей, гидрологическая характеристика, а также рассмотрен антропогенный аспект воздействия на водные объекты Ижорского плато.

Глава 2 посвящена работе с методическими указаниями и проведении гидрохимического анализа природных вод.

Глава 3 систематизирует полученные данные и посвящена обобщению выполненного исследования.

Глава 4 содержит важные исторические данные о фонтанах Петергофа и выявляет взаимозависимость между уникальной фонтанной системой и водными объектами Ижорского плато.

В заключении обобщаются полученные результаты и формулируются выводы на основании выполненного исследования. Приложения включают рисунки и графики.

Глава 1. Описательная характеристика Ижорского плато

Ижорское плато располагается на западе Ленинградской области и представляет собой плоскую приподнятую равнину с абсолютными отметками поверхности преимущественно 120–150 м. Общая площадь плато составляет около 3000 км², центральная слабовыпуклая его часть с отметками поверхности, достигающими 168 м, носит название Ижорской возвышенности (Рис.1).



Рис.1. Карта Ижорского плато и Ижорской возвышенности [38].

Естественной северной границей Ижорского плато является Балтийско-Ладожский уступ (глинт) [27]. Протягиваясь главным образом в широтном направлении, глинт представляет собой отчетливо выраженную ступень рельефа высотой 40–60 метров и с крутизной склонов от 20 до 600 метров. Глинт прорезается многочисленными оврагами, которые часто имеют значительную глубину и протяженность. На отдельных участках очертания глинта образуют своеобразные углубления в плато, или «заливы», одно из которых находится в районе деревни Лопухинка. В северной части плато среди других берут начало реки Рудица и Лопухинка, которые текут,

прорезая глиント, в глубоких V-образных и каньонообразных долинах. Верховья большинства рек искусственно подпружены, в результате чего образовались проточные пруды — озера [4].

1.1. Геологические особенности

Ижорская возвышенность сложена древними карбонатными породами, известняками, доломитами (одна из природных форм смешанного карбоната магния и кальция) и мергелями (осадочная горная порода карбонатно-глинистого состава) ордовикского периода. Атмосферные осадки и талые суглеводные воды легко просачиваются в известняки, растворяют их и образуют карстовые пустоты и трещины, в результате чего образуются карстовые формы рельефа, широко распространённые на территории Ижорской возвышенности. Вода по трещинам уходит в подземные горизонты и выходит на поверхность в виде родников и источников вдоль северной и северо-восточной границ Ижорской возвышенности. Эти подземные воды являются основным источником питания рек — Вруды, Лемовжа, Оредеж и многих других.

Подземные воды Ижорской возвышенности широко используются местными животноводческими комплексами и птицефабриками; они наполняют родниковой водой пруды в парках Павловска и Гатчины. У одного из таких источников у деревень Большое и Малое Забродье, расположенных в 30 километрах к югу от Ломоносова, начинался построенный ещё в 20-х годах XVIII века водопроводящий канал, питающий фонтаны Петергофа. Второй трубопровод, подающий воду в Петродворец, берёт начало из Глядинских ключей на Ропшинских высотах [27].

1.2. Гидрологическая характеристика

Речная сеть здесь развита слабо. Повсеместно, особенно на периферии плато, встречаются многочисленные родники, выходящие на поверхность в понижениях местности — в оврагах и долинах рек. Здесь берут свое начало реки: Воронка, Систа, Черная, Оредеж. Со стороны Финского залива плато

обрывается уступом (глинтом) высотой 15-20, 30-40 м. Реки, прорезая глинт, текут в V-образных долинах и имеют полугорный характер, а при выходе в предглинтовую низменность они становятся извилистыми.

Широкое распространение здесь имеет подземный карст. Верховья рек, стекающих с северных, восточных и западных окраин плато (реки Сума, Солка, Рудица, Стрелка, Дудергофка, система Петергофского канала), полностью прорезают Силурийские известняки и получают обильное питание за счет карстовых родников и ключей. Для рек данного района характерна слабая зарегулированность озерами. Большинство рек имеет озерность менее 1 %.

Далее будут приведены основные реки Ижорского плато и их краткая характеристика.

Река Систа – длина реки 64 км, площадь водосбора 672 км², в том числе 74,5 км² приходится на часть Силурийского плато, имеющую только подземный сток (Рис. 2).

Река берет начало из озера Коростовицкого и впадает в Финский залив Балтийского моря у поселка Систо-Палкино. Залесенность бассейна достигает 70%. Заболоченность местности составляет от 5 % до 15 %. В связи с большим уклоном водосбора перепад высот в долине реки р. Систы довольно значителен – около 125 м.

В верховье в межень река имеет скорость течения до 1 м/сек. Русло реки слабо извилистое, с плоским известняковым дном, характеризующееся в межень глубиной 0,2-0,4 м. Берега обрывистые, высотой 0,5-1,0 м. Значительная роль в питании реки принадлежит грунтовым водам, выходы которых в виде ключей наблюдаются у подошвы склонов долины и в русле реки. Ниже по течению уклон реки уменьшается и скорость течения падает до 0,2 м/сек. В весенний период пойма реки затапливается на глубину от 0,5 до 1,0 м. Русло реки очень извилистое, ширина его составляет 10-30 м, глубины изменяются от 0,5 до 2,0 м, дно глинистое с редкими большими валунами. Берега реки высотою 1,5-2,0 м, крутые и обрывистые.



Рис. 2. Река Систа. Фото из архива автора

Река Воронка (Рис. 3). Длина реки составляет 37 км, площадь водосбора 286 км², из них 80 км² приходится на Силурийское плато, откуда река получает питание за счет грунтовых вод.

Река берет начало в 1 км к юго-западу от деревни Савольщина и впадает в Финский залив Балтийского моря у деревни Керново. Поверхность водосбора имеет возвышенный, холмистый рельеф с заметным уступом глинта в средней части бассейна. В верхнем течении река протекает в области развития моренных отложений, залегающих на кварцевых песчаниках, из-под которых у подошвы склонов выбиваются многочисленные ключи. Долина реки ясно выражена; ширина её в истоках 50 м, глубина около 4,0 м, пойма луговая шириной 150-200 м. Ширина русла составляет 3-4 м, глубина – 0,2-0,5 м. Русло реки слабо извилистое, шириной

3-5 м и глубиной – от 0,2 до 1,0 м, скорость течения варьирует от 0,5 до 1,0 м/сек. Дно песчаное с большим количеством валунов.



Рис. 3. Река Воронка. Фото из архива автора

Река Коваша (Рис. 4) – длина реки составляет 38 км, площадь водосбора 612 км², общее падение составляет 29 м.

Река образуется в результате слияния рек Черная и Рудица у «урочища Усть-Рудица» и впадает в Финский залив Балтийского моря. Река Коваша протекает по слабо холмистой местности (высота холмов достигает 10-15 м), покрытой суглинками и озерно-ледниковыми отложениями. Ширина долины реки составляет 50-100 м, на излучине – до 200 м. Пойма реки прерывистая, луговая, в устье заболоченная, лесная; сложена супесями и суглинками. В половодье пойма заливается слоем воды до 0,5 м. Русло извилистое. Ширина реки 10-17 м, глубина 1-1,5 м, скорость течения от 0,1 до 1,4 м/сек. Дно неровное, каменистое, иногда порожистое, ниже с. Ломоносово - ровное, каменистое. Берега реки высотой 0,6-0,8 м суглинистые, покрытые кустарником, местами луговые. В 4 км ниже «урочища Усть-Рудица» на реке имеется плотина [25].



Рис. 4. Река Коваша [39]

1.3. Месторождение подземных вод Ижорского плато

На Ижорском плато зона пресных вод составляет до 250-260 м [25]. Подземные воды являются приоритетным источником для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения в связи с их большей санитарной надежностью и защищенностью от загрязнения с поверхности относительно поверхностных водных объектов [4].

Ижорское плато является самым крупным месторождением подземных вод в Ленинградской области. На территории Ижорской возвышенности располагаются множество водозаборных скважин. Водоотбор составляет 200 тыс. м³. Водозаборы снабжают Красное Село, Волосово, Гатчину, Копорье и другие населённые пункты [5].

На территории Ижорского плато широко развит карст, который представлен различными поверхностными формами: воронками, долинами, ложбинами. Иногда воронки, сливаясь, образуют карстовые ванны, протяжённость которых может достигать до 200 м. Изредка встречаются карстовые долины, не имеющие постоянного стока. Степень закарстованности карбонатных пород как по площади, так и в вертикальном

разрезе неравномерная. Средняя закарстованность пород составляет 2,5%, на отдельных участках верхней зоны (до глубины 30 м) закарстованность достигает 6%. Загрязнение с большей скоростью распространяется по закарстованным площадям, так как неравномерная трещиноватость и закарстованность карбонатных пород обуславливает изменения фильтрационных свойств горизонта.

Увеличение водопотребления и повышение требований к качеству водных ресурсов являются следствием возрастающей антропогенной нагрузки, роста производственной деятельности и жизненного уровня населения. Вместе с тем растут и требования к информации о химическом составе природных вод, о закономерностях и тенденциях его изменений. Необходимость расширения имеющихся сведений о химическом составе вод увеличивается по мере развития науки, а также в связи с изучением воздействия конкретных химических элементов и их соединений на организм человека и животных [11]. На основании этого были введены гигиенические нормативы химических веществ в окружающей среде, которые в законодательном порядке устанавливают безопасные для человека уровни воздействия вредных и опасных факторов окружающей среды.

В зависимости от природы действующего фактора было введено понятие предельно допустимой концентрации химического соединения в окружающей среде. ПДК – это такая концентрация, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение всей жизни, прямо или опосредованно через экологические системы, не возникает заболеваний или изменений состояния здоровья, выходящих за пределы приспособительных физиологических реакций, обнаруживаемых современными методами сразу или в отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений [7]. ПДК устанавливается для каждого из наиболее опасных веществ в отдельности в воздухе, воде, почве и действует на территории всей страны, этот норматив обоснован клиническими и санитарно-гигиеническими исследованиями. В последнее время при определении ПДК учитывается не

только степень влияния ксенобиотиков на здоровье человека, но и воздействие этих загрязнителей на природные сообщества [19].

1.4. Антропогенное воздействие на качество водных ресурсов

Территория Ижорского плато относится к районам интенсивного хозяйственного освоения, под влиянием которого возрастают загрязнение подземных вод. В связи с этим оценка состояния подземных вод и выявление загрязнителей водных объектов имеет ключевое значение для водоснабжения юго-запада Ленинградской области (Табл.1).

Таблица 1

Сведения об основных предприятиях, осуществляющих отведение сточных вод в водные объекты бассейна р. Луга и южной части бассейна Финского залива (2011 г.) [25]

Предприятие	отрасль экономики	Водный объект	Сброс сточных вод, тыс.м ³ /год
г. Санкт-Петербург			
ТЭЦ-15 филиала «Невский» ОАО «ТГК-1»	производство электроэнергии	р. Красненькая	64471
ОАО «Рудас»	добыча полезных ископаемых	р. Красненькая	6420
ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»	коммунально-бытовое водоснабжение	р. Шингарка	668
		Всего	71559
Ленинградская область			
ФГУП «Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства» пос. Ропша	рыбоводство	р. Стрелка, руч. Михайловский, р. Оредеж	11172
ОАО «Кингисеппский водоканал» (г. Кингисепп, пп. Усть-Луга и др.)	коммунально-бытовое водоснабжение	р. Луга, р. Подожица	5699
ОАО «Лужский водоканал»	коммунально-бытовое водоснабжение	р. Луга, оз. Бол. Толони, р. Оредеж	3796
ООО ПГ «Фосфорит» г. Кингисепп	производство фосфатных удобрений и другой продукции неорг. химии	р. Луга	2036
ОАО «Коммунальные системы Гатчинского района» (пос. Сиверский, Вырица, Рождествено и др.)	коммунально-бытовое водоснабжение	р. Оредеж, р. Суда, р. Орлинка, р. Стрелка	1932
Лужский производственно-экспериментальный лососевый завод, пос. Ивановское	рыбоводство	р. Хревица, р. Луга	1792
ООО «Русско-Высоцкая птицефабрика» Ломоносовский р-н с. Русско-Высоцкое	птицеводство	ручей б/н (бас. р. Стрелка)	1602
Филиал «Волосовские коммунальные системы» ОАО «Тепловые сети» (п. Волосово, Бегуницы и др.)	коммунально-бытовое водоснабжение	рр. Лемовжа, Вруда, Изварка, Луга	1363
Концерн "Росэнергоатом" (Ленинградская АЭС)	атомная энергетика	рр. Коваша, Пейпия, Систа	839
ОАО «ЛР ТЭК» (п. Горбунки, Гостилицы, Кипень и др.)	коммунально-бытовое водоснабжение	руч. Новодеревенский, р. Рудица, р. Коваша, р. Воронка	646
ЗАО «Птицефабрика Лаголово» Ломоносовский район д. Лаголово	птицеводство	руч. Карпинский (бас. р. Стрелка)	554
ООО «Агрофирма Рудицы» д. Гостилицы	рыбоводство	р. Рудица (бас. р. Коваша)	548
ООО «Энергобаланс-ВК» (пос. Котельский, Ополье, Большая Пустомержа и др.)	коммунально-бытовое водоснабжение	рр. Толбовка, Солка, Нейма (бас. рр. Стрелка, Луга)	326
ОАО «Лужский завод «Белкозин»	производство пищевых продуктов	р. Переволока (бас. р. Луга)	150
ЗАО «Филип Morris Ижора»	производство табачных изделий	кан. Лиговский (бас. р. Красненькая)	148
Пансионат «Зеленый бор» г. Луга	оздоровительные учреждения и учреждения отдыха	р. Студенка (бас. р. Луга)	148
		Всего	32751

На территории Ижорского плато находятся объекты сельского хозяйства: птицефабрики, хранилища удобрений, подземные газохранилища, полигоны твёрдых бытовых отходов, химические предприятия, свалки, склады горюче-смазочных материалов, разветвлённая сеть автодорог с автозаправочными станциями. Приведённые выше объекты хозяйственной деятельности располагаются рядом с водозаборами питьевых вод. В настоящее время практически на всех участках отмечается превышение норм

ПДК [12]. Согласно данным статьи [10] одним из основных загрязняющих компонентов являются нитраты. В настоящее время отмечаются повышенные значения нитратов в северной части Ижорского плато. Превышения норм ПДК отмечаются в подземных водах Красного села (Рис. 5) и посёлке Глядино. Основным источником загрязнения здесь являются ближайшие птицефабрики. С каждым годом концентрация нитратов в подземных водах увеличивается [12]. Сразу в нескольких водных объектах были зафиксированы превышения норм ПДК по Fe, Cd, Ba, Zn, Cu, Mn, Cr. Превышение норм предельно допустимых концентраций и фоновых значений напрямую связано с влиянием объектов сельского хозяйства.

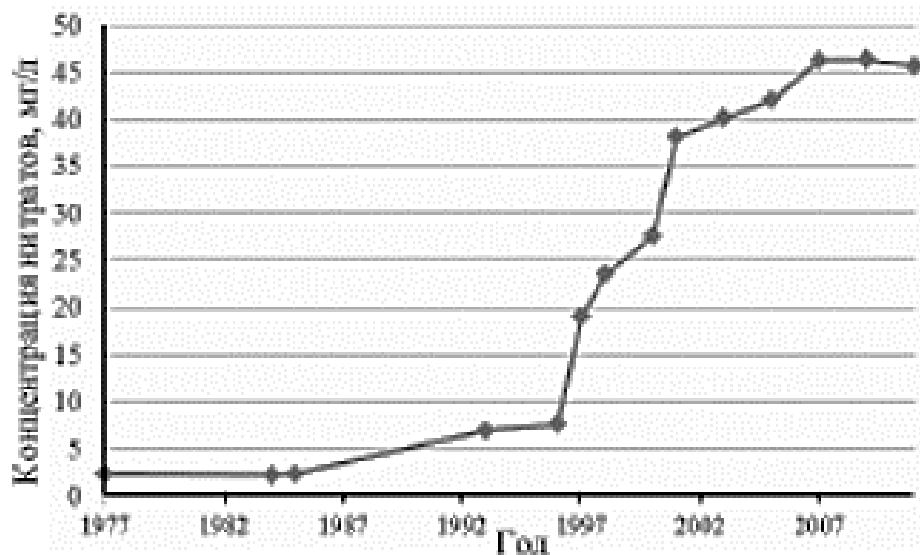


Рис. 5. Увеличение концентрации нитратов в подземных водах ордовикского горизонта в районе Красного Села [10]

Основной проблемой использования подземных вод для питьевого водоснабжения является их антропогенная загрязнённость. На территории Ижорского месторождения подземных вод сложилась ситуация, когда промышленные предприятия, не имеющие системы очистки стоков и сбрасывающие сточные воды в водоёмы, соседствуют со скважинными водозаборами, снабжающими водой население. В связи с этим в водозаборы поступает загрязнённая вода, что способствует увеличению риска проникновения загрязнения в питьевые водопроводы.

Помимо антропогенной загрязнённости рассматриваемые подземные воды имеют природные повышенные значения по радону и жёсткости. Для уменьшения влияния радона следует рекомендовать отстаивание воды в течение четырёх суток, аэрирование, фильтрование через активированный уголь. Для уменьшения жёсткости можно использовать мембранные фильтры обратного осмоса [12].

1.5. Климатические особенности

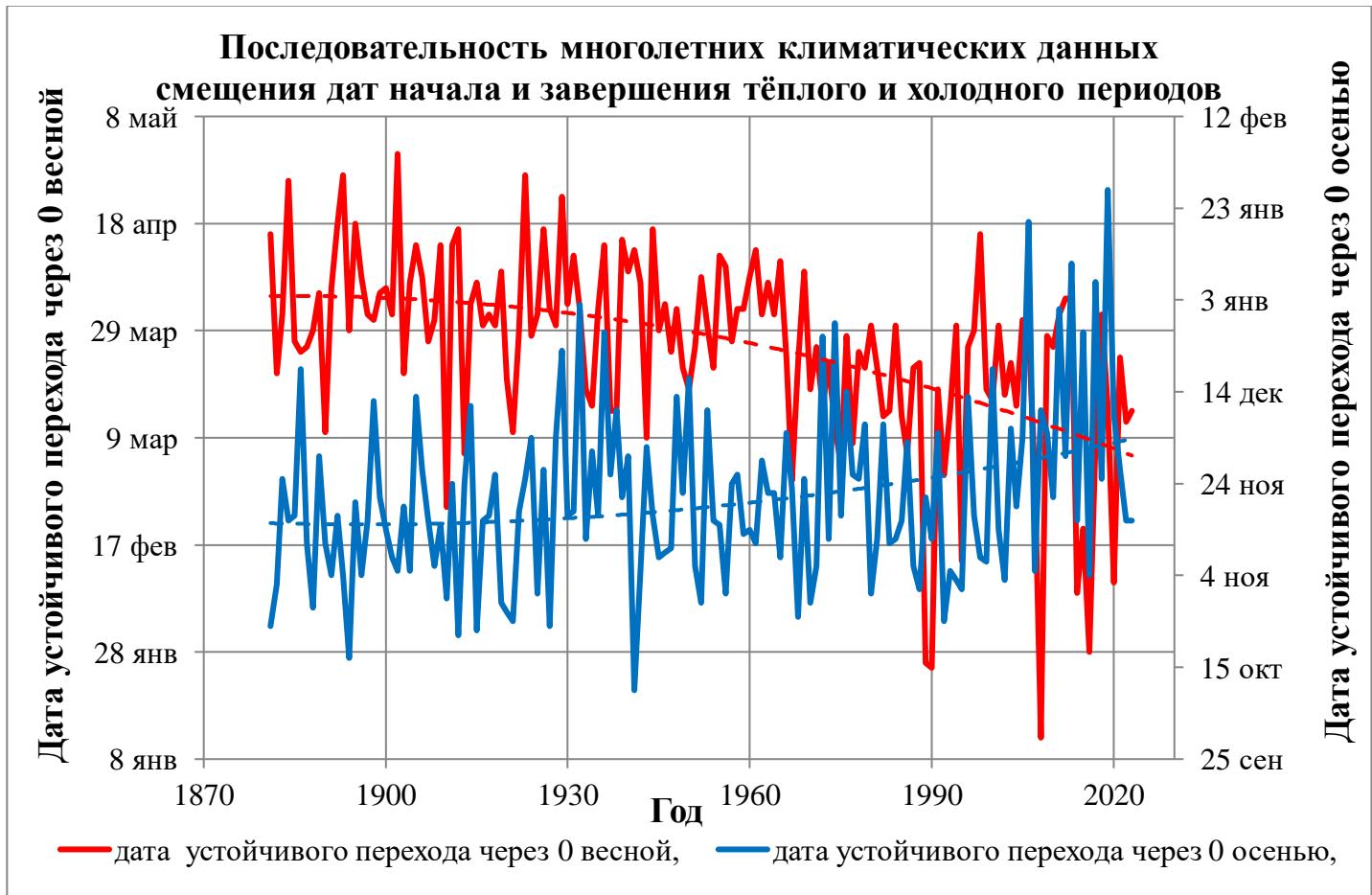


Рис. 6. Последовательность многолетних климатических данных смещения дат начала и завершения тёплого и холодного периодов. Фото из архива автора

На данном графике представлена хронологическая последовательность многолетних климатических данных чередования холодного и тёплого периода. Согласно представленным данным наблюдается смещение дат начала и завершения тёплого и холодного периодов. Таким образом, в 1885

году тёплый период начинался в начале апреля, а в 2022 году – в начале марта. Отчётливо прослеживается тенденция к сдвигу точки начала тёплого периода. Холодный период в 1885 году начинался в середине ноября, а в 2022 году – в начале декабря.

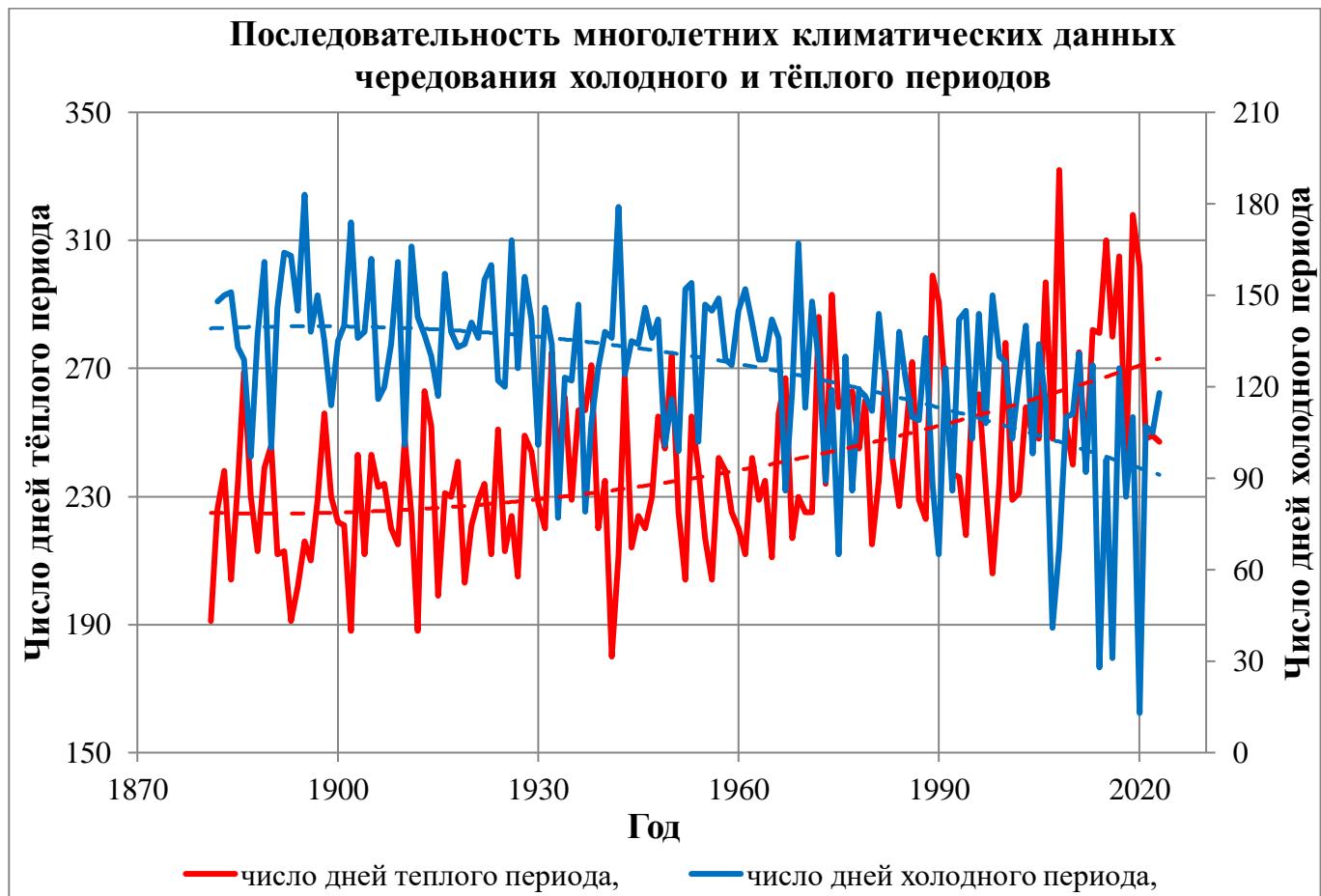


Рис. 7. Последовательность многолетних климатических данных чередования холодного и тёплого периодов. Фото из архива автора

Данный график иллюстрирует количественное соотношение дней тёплого и холодного периода. В связи с имеющимися данными можно сделать вывод о том, что количество дней тёплого периода в 1885 году составляет 220 дней, а в 2022 году – 275 дней. В дальнейшей перспективе наблюдается тенденция на увеличение среднегодовой температуры по станции Санкт-Петербурга.



Рис. 8. Последовательность многолетних климатических данных по сумме температур смежных периодов. Фото из архива автора

На данном графике представлено суммирование смежных периодов за каждый год (температураный год). Анализируемый промежуток времени составляет почти 150 лет, что позволяет проследить все динамические изменения температурных условий. Начиная с 1950-х годов, отчётливо прослеживается постепенное увеличение суммы среднегодовых температур. Кроме того, сумма температур продолжит расти и, скорее всего, с каждым годом она будет повышаться всё стремительнее. Данная ситуация повлечёт за собой увеличение испарения воды с поверхности водных объектов, что в свою очередь вызовет снижение объёмов воды в водных объектах. И наконец, в связи с такими последствиями в Петергофские фонтаны будет поступать меньшее количество воды, что уменьшит их высоту и по самым неутешительным прогнозам может и вовсе привести к недостатку воды.

Глава 2. Экспериментальная часть

2.1. Отбор проб

Для получения верной оценки качества воды в исследуемом водном объекте отобранные пробы должны быть репрезентативными. Проба может считаться репрезентативной при условии соответствия поставленной задаче по количеству, объёму и точкам исследования [11]. Объем взятой пробы должен соответствовать установленному в нормативном документе на метод анализа (измерения) конкретного показателя с учетом количества определяемых показателей. Все процедуры отбора проб должны быть строго документированы. Записи должны быть четкими, осуществлены надежным способом, позволяющим провести идентификацию пробы в лаборатории без затруднений [29].

Отбор проб воды проводят:

- для контроля качества воды с целью принятия корректирующих мер при обнаружении изменений кратковременного характера;
- для исследования воды при установлении программы исследований или обнаружения изменений долгосрочного характера;
- для определения состава и свойств воды по показателям, регламентированным в нормативных документах;
- для идентификации источников загрязнения водного объекта [29].

В ходе полевых работ был выполнен выезд на 14 водных объектов (Рис. 6) и отобрано 12 проб с целью проведения гидрохимического анализа в лабораторных условиях. Отбор проб производился в химически чистую тару с применением метода ополаскивания для исключения попадания посторонних примесей.

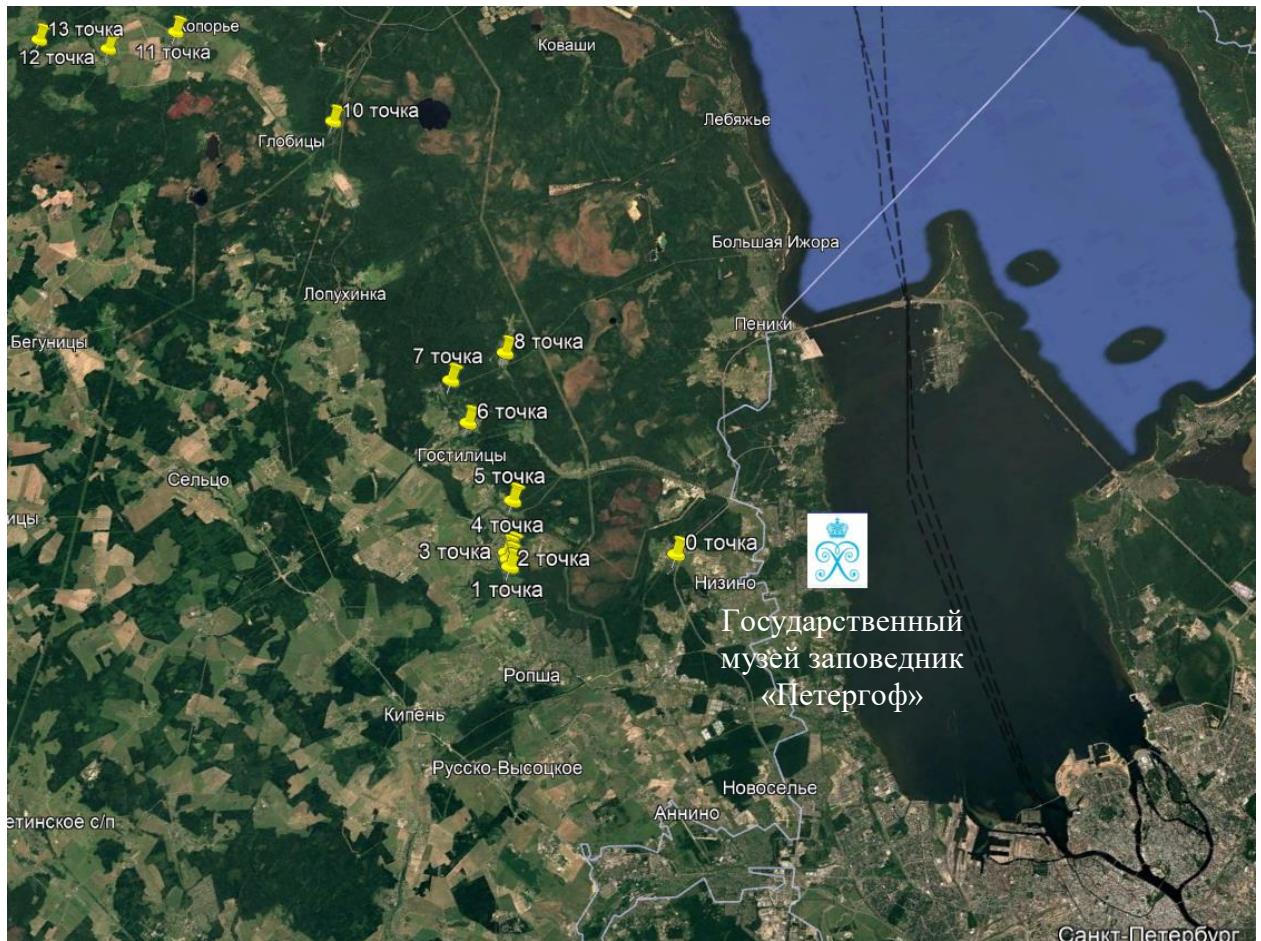


Рис. 9. Карта месторасположения точек отбора проб [43]

2.2. Характеристика основных гидрохимических показателей

Хозяйственная деятельность, которая осуществляется на водосборах и в руслах рек, сопровождается внесением значительного количества различных солей и органических соединений, способствуя изменению химического состава поверхностных вод, который формировался в определённых физико-географических условиях данного региона. Количество и состав химических веществ, поступающих в водотоки, процессы их трансформации и перераспределения с течением водных масс формируют качество воды [16].

Природные воды - это связующее звено между атмосферой, литосферой и биосферой, что объясняет многообразие условий, процессов и факторов, под влиянием которых формируется их химический состав. Под химическим составом природной воды принято понимать весь комплекс, содержащихся в ней газов, ионов, растворенных и взвешенных веществ

минерального и органического происхождения [20].

В природных водах растворены почти все известные на земле химические элементы в виде простых и сложных ионов, комплексных соединений [23].

2.2.1. Определение температуры

Температура является одним из важнейших параметров при проведении гидрохимического анализа, который определяет скорость, а иногда и тенденции изменения качества воды. Температура в водоёме является результатом нескольких одновременно протекающих процессов, таких как воздействие солнечной радиации, испарение с поверхности водного объекта, теплообмен с атмосферой, перенос тепла течениями, а также турбулентным перемешиванием вод. Значение температуры воды влияет на комплекс процессов, протекающих в водоёме (физические, химические, биохимические, биологические процессы), степень насыщения кислородом и интенсивность процессов самоочищения.

Годовые и суточные колебания температурного режима воды в поверхностном и глубинном слоях определяются количеством тепла, поступающего на поверхность, а также интенсивностью перемешивания. Суточные колебания температуры могут варьировать в диапазоне нескольких градусов и обычно распространяются на небольшую глубину (несколько десятков сантиметров). На мелководьях амплитуда температуры воды близка к амплитуде температуры воздуха. Измерение температуры воды и воздуха производят во время отбора пробы [11].

2.2.2. Определение запаха

Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, которые выделяются при биохимическом разложении органических веществ, при химическом взаимодействии компонентов, находящихся в водоёме, а также они могут поступать со сточными водами предприятий.

Вид, интенсивность и устойчивость запаха различны и зависят от таких

факторов, как состав обуславливающих его веществ, гидрологические условия, pH, температура, степень загрязнённости. Определение запаха может являться одним из вспомогательных способов при идентификации источника возможного загрязнения водоёма.

Определение запаха проводят вскоре после отбора пробы. Пробы воды при этом не подвергают фильтрации и консервации [11].

Интенсивность запаха воды оценивают по пятибалльной системе согласно требованиям, представленным в таблице 2.

Таблица 2

Интенсивность запахов [28]

Интенсивность запаха	Характер проявления запаха	Оценка интенсивности запаха, балл
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах очень слабый	1
Слабая	Запах слабый и не вызывает неодобрительный отзыв о воде	2
Заметная	Запах легко замечается и вызывает неодобрительный отзыв о воде	3
Отчетливая	Запах отчетливый, вызывает неодобрительный отзыв о воде и заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильный, что делает воду непригодной к употреблению	5

В процессе лабораторного изучения отобранных проб воды было сделано заключение, согласно которому только одна из всех проанализированных проб обладала нехарактерным ярко выраженным посторонним запахом (проба №0). Данная проба была отобрана вблизи урочища Симоногонт, в предположительном месторасположении свалки бытовых отходов, что могло обусловить присутствие в пробе постороннего запаха.

2.2.3. Определение цветности

Цветность поверхностных вод обусловлена главным образом присутствием гуминовых веществ и соединений трёхвалентного железа (Рис. 10). Количество этих веществ зависит от гидрологических условий, водоносных горизонтов, характера почв в бассейне реки [7]. В естественных условиях вещества, обуславливающие цветность, поступают в результате вымывания из почв, торфяников, с подземным стоком.

Цветность природных вод варьирует в довольно широком диапазоне — от единиц до сотен и тысяч градусов. Обычно повышение цветности можно наблюдать в водах рек и озёр, которые располагаются в лесной и болотистой местностях, где поверхностный сток приносит с прилегающей территории большие количества гумусовых веществ [11].

Повышенная цветность воды ухудшает её органолептические свойства и оказывает негативное влияние на развитие водных животных и растительных организмов за счёт того, что растворённый кислород расходуется на процессы окисления соединений железа и гумусовых веществ [32].



Рис. 10. Динамические изменения показателя цветности в отобранных

пробах. Фото из архива автора.

Согласно графическому отображению результатов лабораторного анализа пробы №3, №5 и №6 характеризуются незначительной цветностью, что подтверждается низким содержанием соединений железа (согласно данным эксперимента). Наиболее высокими значениями цветности характеризуются пробы №7 и №8, что также объясняется корреляцией с уровнем содержания железа, именно в данных пробах показатель присутствия железа являлся наивысшим.

2.2.4. Определение мутности

Мутность воды обусловлена содержанием взвешенных в воде мелкодисперсных примесей – нерастворимых или коллоидных частиц, как естественного, так и антропогенного происхождения (Рис. 11). Взвешенные вещества попадают в воду в результате смыва твердых частиц (глины, песка, ила) верхнего покрова земли дождями или талыми водами во время паводков, а также в результате размыва русла рек. Наименьшая мутность водоемов наблюдается в зимний период, а наибольшая - весной (в период паводков) и летом, в период дождей и развития сине-зелёных водорослей, плавающих в воде. Также повышение мутности воды может быть вызвано промышленными отходами и окислением соединений железа кислородом, например, при попадании в водоем сточных вод [8].

В лабораторных условиях согласно методике определения мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и по формазину (ПНД Ф 14.1:2:4.213-05) в кювету вносят тщательно перемешанную испытуемую пробу и снимают показания прибора при длине волны 520 нм. Если цветность исследуемой пробы ниже 10°, то в качестве фона используют дистиллированную воду. Если цветность исследуемой пробы выше 10°, то фоном служит исследуемая пробы, из которой удалены взвешенные вещества при помощи фильтрования. Мутность исследуемой пробы находят по соответствующей градуировочной характеристике (по каолину или по

формазину) [36].

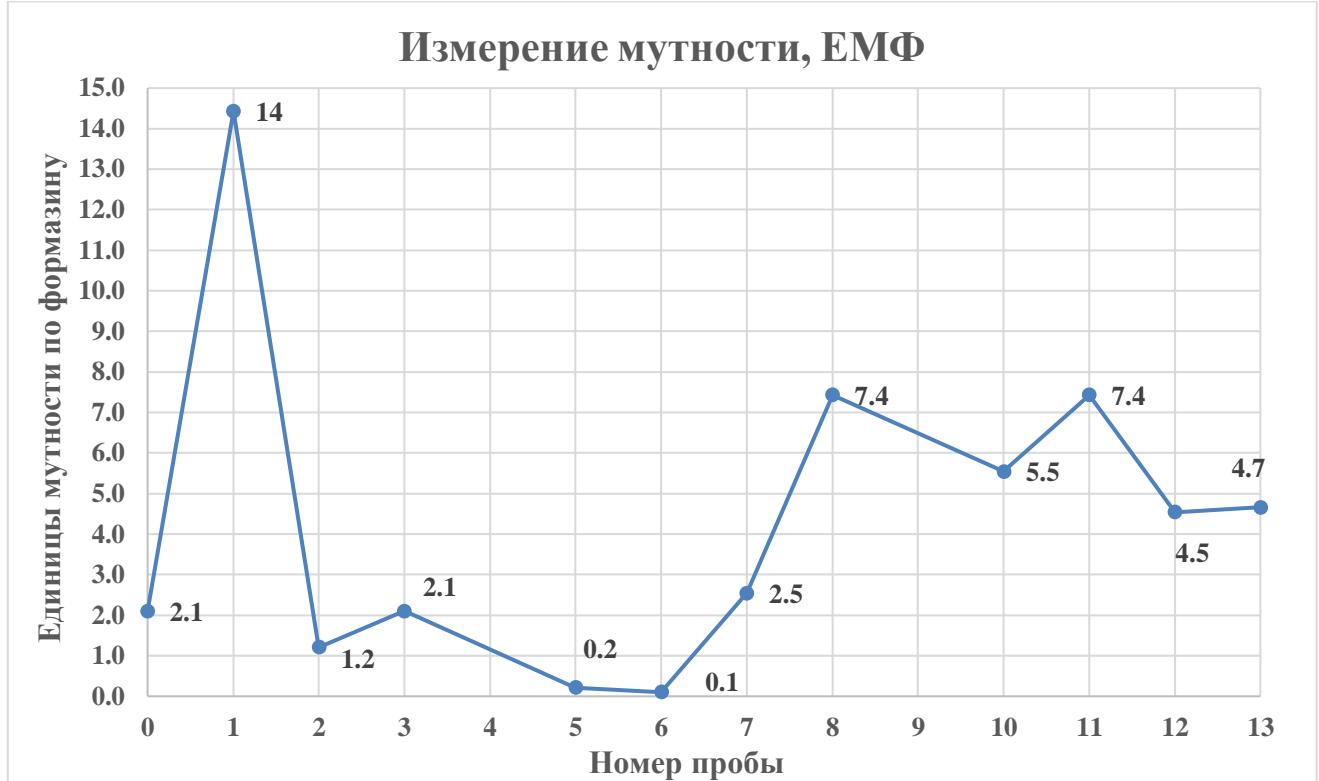


Рис. 11. Динамические изменения показателя мутности в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графической визуализации практической части работы наибольшей мутностью характеризуется проба №1, что связано с избыточным содержанием взвешенных частиц. Наиболее низкие значения исследуемого показателя были обнаружены в пробах №5 и №6.

2.2.5. Определение водородного показателя (рН)

Источником ионов водорода в природных водах являются гумусовые кислоты, которые встречаются в кислых почвах, перегное и болотах и угольная кислота. В воде угольная кислота диссоциирует на ионы:



в результате чего высвобождаются ионы водорода, что указывает на кислую реакцию среды [11].

Для поверхностных вод, содержащих небольшие количества двуокиси углерода, характерна щелочная реакция среды. Изменения значений рН связаны с процессами фотосинтеза (так как растительные организмы

потребляют углекислый газ) и распада органических веществ.

Значения pH обычно варьируются в следующем диапазоне: в реках от 6,5 до 8,5; атмосферных осадках от 4,6 до 6,1 и в болотах от 5,5 до 6. Концентрация ионов водорода подвержена сезонным колебаниям. Таким образом, зимой величина pH для большинства речных систем составляет 6,8–7,4 (в среднем 7,1, что соответствует нейтральной среде), в летний период ситуация несколько изменяется — 7,4–8,2 (в среднем 7,8, что приближается к щелочной среде) (Таблица 3) [7].

Таблица 3

Определение качества воды по величине pH [14]

Качество воды	Величина pH	Причины
Сильнокислые	< 3	Результат гидролиза солей тяжёлых металлов (шахтные и рудные воды)
Кислые	3-5	Поступление в воду угольной кислоты, фульвокислот и других органических кислот в результате разложения органических веществ
Слабокислые	5-6,5	Присутствие гумусовых кислот в почве и болотных водах (воды лесной зоны)
Нейтральные	6,5-7,5	Наличие в водах $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.
Слабощелочные	7,5-8,5	
Щелочные	8,5-10	Присутствие в водах Na_2CO_3 или NaHCO_3
Сильнощелочные	> 10	

pH воды является одним из важнейших параметров при оценке качества вод (Рис. 12). Величина концентрации ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, протекающих в природных водах [11].

В данной работе при определении величины pH в исследуемых пробах воды применялся потенциометрический метод, который заключается в измерении разности потенциалов между двумя электродами, погруженными в испытуемый раствор. Один из электродов чувствителен к ионам водорода,

а другой — электрод сравнения (хлорсеребряный электрод) [31].

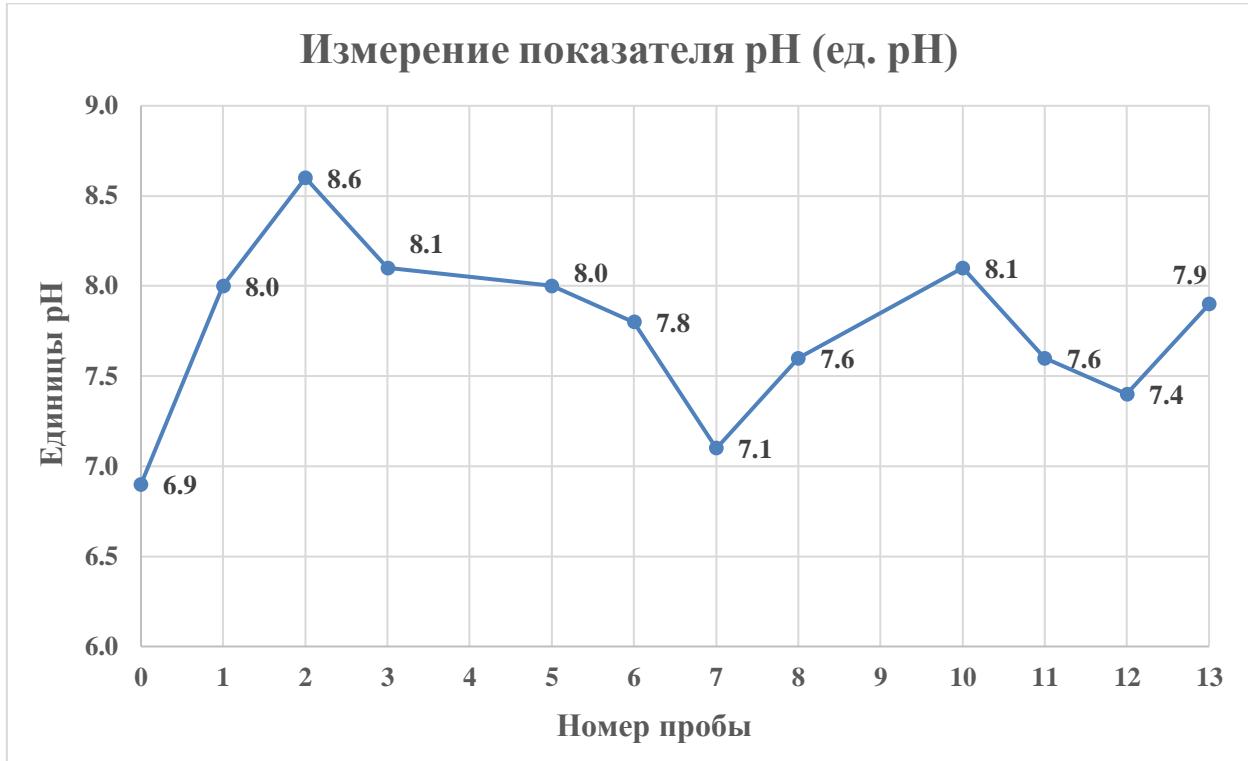


Рис. 12. Динамика водородного показателя в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графическому отображению динамики водородного показателя и данным из таблицы 3, большинство проб характеризуются слабощелочной реакцией среды (пробы: 1, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13), к щелочной среде относится проба №2, что может быть обусловлено высоким содержанием карбонатов, так как в растворах они диссоциируют с образованием гидроксильных ионов, а к нейтральной — пробы №0, №7, №12.

2.2.6. Определение удельной электропроводности

Природные воды представляют собой в основном растворы смесей сильных электролитов. Минеральную часть воды составляют главным образом ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Этими ионами и обусловливается электропроводность природных вод. Присутствие других ионов, например, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^+ , Al^{3+} мало влияют на электропроводность, так как эти ионы редко встречаются в воде в значительных количествах. Растворенные газы также не оказывают заметного влияния на

электропроводность воды.

При оценке суммарного содержания неорганических веществ (минерализация) по величине удельной электропроводности возникают следующие трудности. Первая из них связана с неодинаковой удельной электропроводностью растворов различных солей, а вторая – с вариабельностью химического состава поверхностных вод.

Электропроводность растворов повышается с ростом температуры, так как при этом уменьшается вязкость и увеличивается степень диссоциации. Величина удельной электропроводности является приблизительным показателем концентрации электролитов, главным образом неорганических, поэтому она применяется для оценки минерализации вод (Рис. 13).

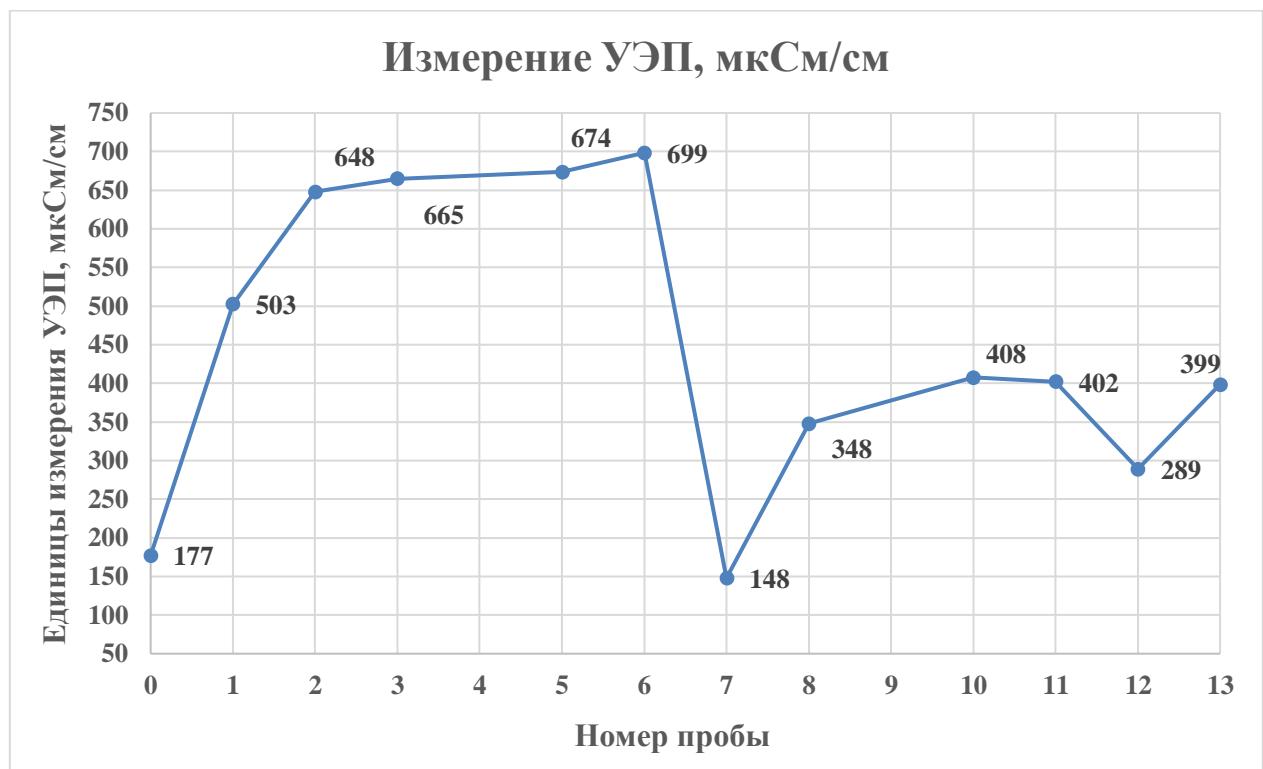


Рис. 13. Динамические изменения показателя УЭП в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графической визуализации практической части работы наиболее высокие значения показателя удельной электропроводности наблюдались в пробах №2, №3, №5, №6, что связано с такими же высокими значениями минерализации в данных пробах (согласно данным

эксперимента). Наиболее низкие значения показателя удельной электропроводности наблюдались в пробах №0 и №7, что объясняется самым низким уровнем минерализации данных проб (согласно данным эксперимента).

Многие производства, сельское хозяйство, предприятия питьевого водоснабжения предъявляют определенные требования к качеству вод, в частности к минерализации, так как воды, содержащие большое количество солей, способны оказывать негативное влияние на растительные и животные организмы, технологию производства и качество продукции, вызывают ускоренное образование накипи на стенках котлов, коррозию, засоление почв [11].

2.2.7. Определение минерализации

Минерализация – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ (Рис. 14).

Минеральный состав характеризует результат взаимодействия воды как физической среды с другими средами: твердой, т.е. береговыми и подстилающими, а также почвообразующими минералами и породами; с воздушной средой и содержащейся в ней влагой и минеральными компонентами. Кроме того, минеральный состав воды обусловлен протекающими в разных средах физико-химическими и физическими процессами – растворение и кристаллизация, седиментация, испарение и конденсация и др. Большое влияние на минеральный состав воды поверхностных водоемов оказывают протекающие в атмосфере и в других средах химические реакции с участием соединений азота, углерода, кислорода, серы [21].

Таблица 4

Классификация природных вод по минерализации [13]

Категория вод	Минерализация г/дм ³
Ультрапресные	< 0,2
Пресные	0,2-0,5
Воды с относительно повышенной минерализацией	0,5-1,0
Солоноватые	1,0-3,0
Солёные	3-10
Воды повышенной солёности	10-35
Рассолы	> 35

Исходя из данных по минерализации, можно сделать вывод о том, что вода большинства исследуемых водных объектов принадлежат к категории пресной. Исключением являются следующие водные объекты: урочище Симоногонт, ручей у Зрекино и Чёрная речка, в которых, соответственно полученным данным, вода относится к категории ультрапресной (Таблица 4).

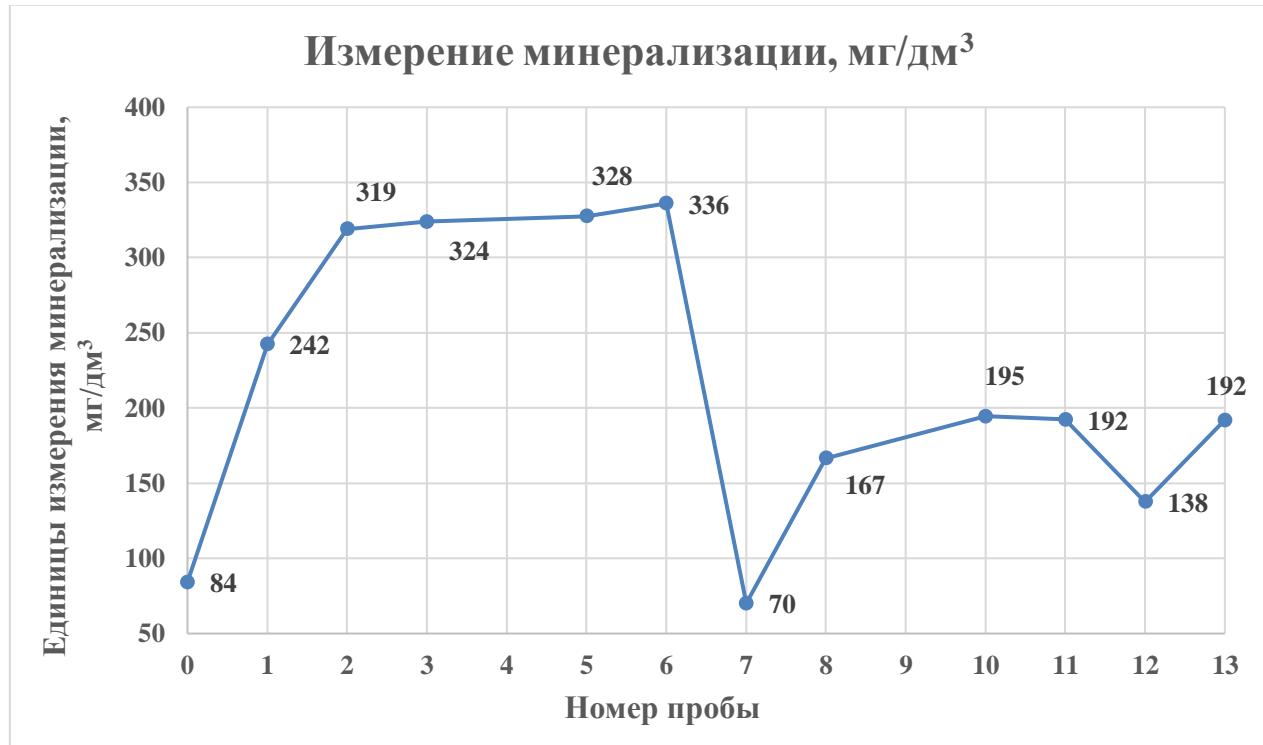


Рис. 14. Динамические изменения показателя минерализации в отобранных пробах. Фото из архива автора.

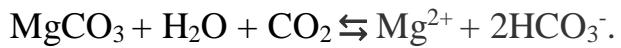
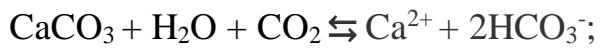
Согласно графическому отображению результатов лабораторного

анализа параметра минерализации, наибольшее значение было зафиксировано в пробах №2, №3, №5, №6, а наименьшее в пробах №0 и №7, что согласуется с графическими данными по показателю УЭП.

2.2.8. Определение гидрокарбонатов

Большая часть (около 80%) поверхностных вод относится к гидрокарбонатному классу, так как среди главных анионов в них преобладают гидрокарбонаты.

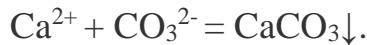
Главным источником гидрокарбонатных и карбонатных ионов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения карбонатных пород [11]:



Значительные количества гидрокарбонатных ионов поступают в водные объекты с атмосферными осадками и грунтовыми водами [1].

Гидрокарбонатные и карбонатные ионы выносятся в водоёмы со сточными водами предприятий химической, силикатной, содовой промышленности.

По мере накопления гидрокарбонатных и особенно карбонатных ионов, последние, образуя малорастворимые соединения с ионами кальция, выпадают в осадок:



Данный процесс имеет важное значение в природе, так как от него зависит образование карбонатных пород.

Гидрокарбонатные и карбонатные ионы, как правило, преобладают в водах с высокой степенью минерализации, которые относятся к гидрокарбонатному классу. Важнейшими факторами, которые определяют режим этих ионов, являются состав и типы пород, характер питания реки, изменчивое соотношение между поверхностным и подземным стоком.

Потенциометрическое определение гидрокарбонатов

Метод основан на взаимодействии гидрокарбонатных и карбонатных ионов с соляной кислотой, в результате чего образуется H_2CO_3 , которая распадается на CO_2 и H_2O . В данном методе проводится титрование пробы воды соляной кислотой до pH , равного 4,5 и 4,2 (Рис. 15) [11].

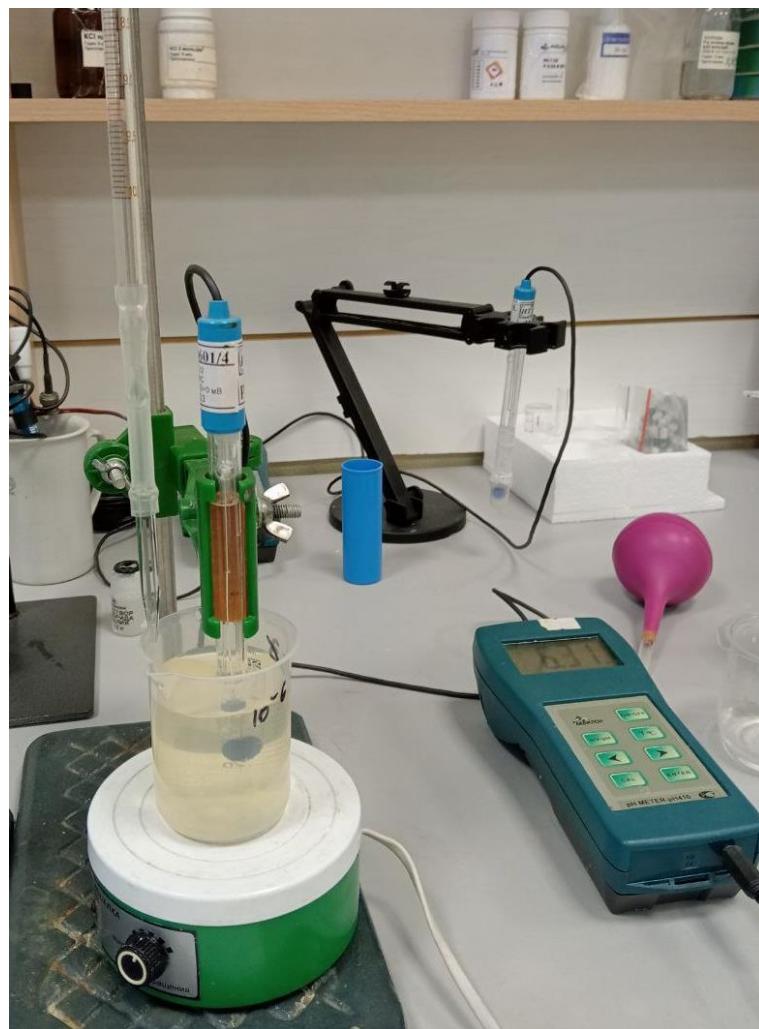


Рис. 15. Определение содержания гидрокарбонатов потенциометрическим методом. Фото из архива автора

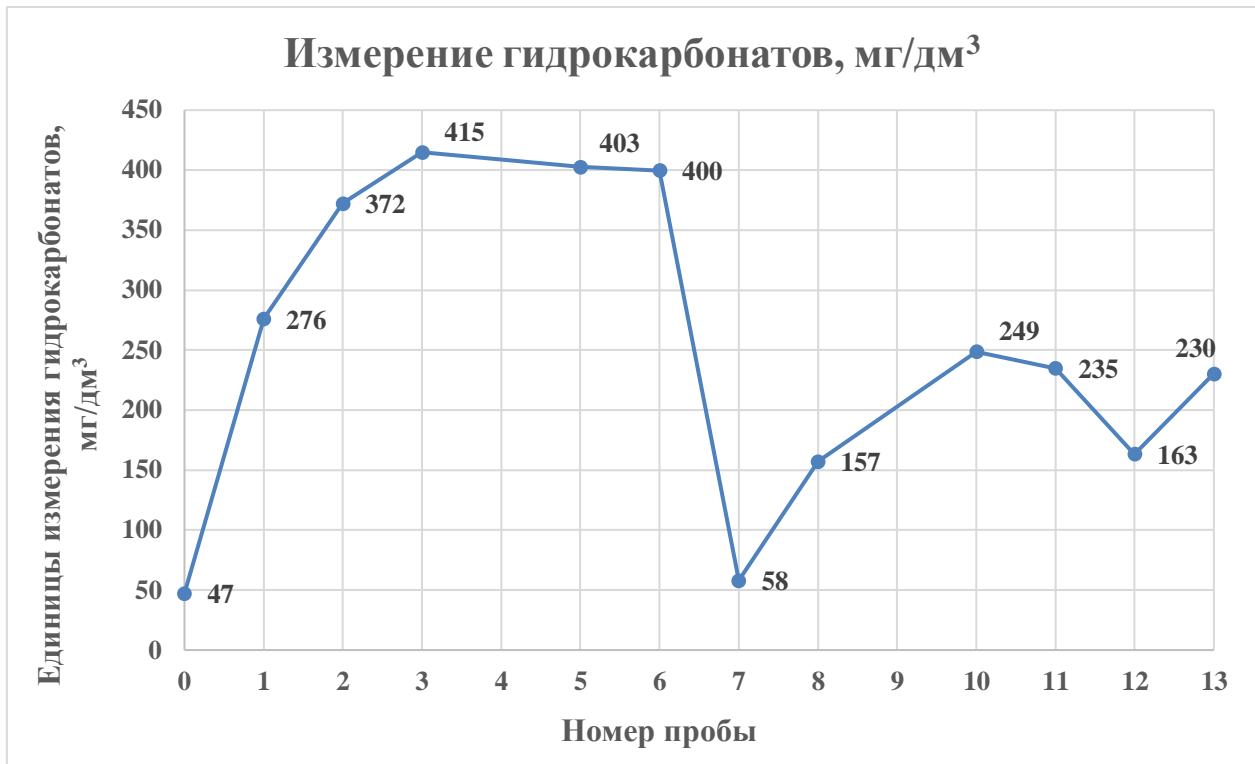


Рис. 16. Динамические изменения содержания гидрокарбонатов в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графической визуализации практической работы, наибольшим содержанием гидрокарбонатов отличаются пробы с наибольшей степенью минерализации, так как эти показатели коррелируют между собой. В связи с этим пробы №2, №3, №5, №6 характеризуются высоким содержанием гидрокарбонатов, а пробы №0 и №7 – низким содержанием гидрокарбонатов.

2.2.9. Определение железа

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, что сопровождается их механическим разрушением и растворением. Значительные поступления железа отмечаются с подземным стоком и со сточными водами предприятий metallurgической, текстильной, лакокрасочной промышленности, а также с сельскохозяйственными стоками. Помимо антропогенных источников поступления железа в водоём существуют и природные [11]. В ходе физико-химических и биохимических

реакций, происходящих в самих водоёмах, железо может выпадать в осадок в виде $\text{Fe(OH)}_3 \downarrow$ [2].

Концентрация железа подвержена сезонным колебаниям. Обычно в водоёмах с высокой биологической продуктивностью в период летней и зимней стагнации, концентрация железа увеличивается в придонных слоях воды. Осенне-весенное перемешивание водных масс сопровождается окислением двухвалентного железа в трёхвалентную форму, что завершается выпадением осадка $\text{Fe(OH)}_3 \downarrow$ [1].

Содержание железа в воде выше 1-2 мг/л в значительной степени ухудшает органолептические свойства, делая воду мало пригодной для использования в технических целях. Железо является биологически активным элементом и в некоторой степени оказывает влияние на интенсивность развития фитопланктона, а также на качественный состав микрофлоры в водоёме.

Для определения суммарного содержания растворённого железа отобранную пробу фильтруют и добавляют 2 мл концентрированной соляной кислоты на 100 мл анализируемой воды [11].

Фотометрическое определение железа

Данный метод позволяет определить суммарное содержание растворённого железа (Fe^{2+} , Fe^{3+} , полимерные и связанные с органическими и неорганическими веществами в комплексные формы) в пробе (Рис. 17).

Метод основан на предварительном разрушении органических и минеральных комплексов железа посредством кипячения в сильнокислой среде и восстановлением всех форм железа до Fe^{3+} . Дальнейшее определение содержания железа проводят фотометрическим методом [11].

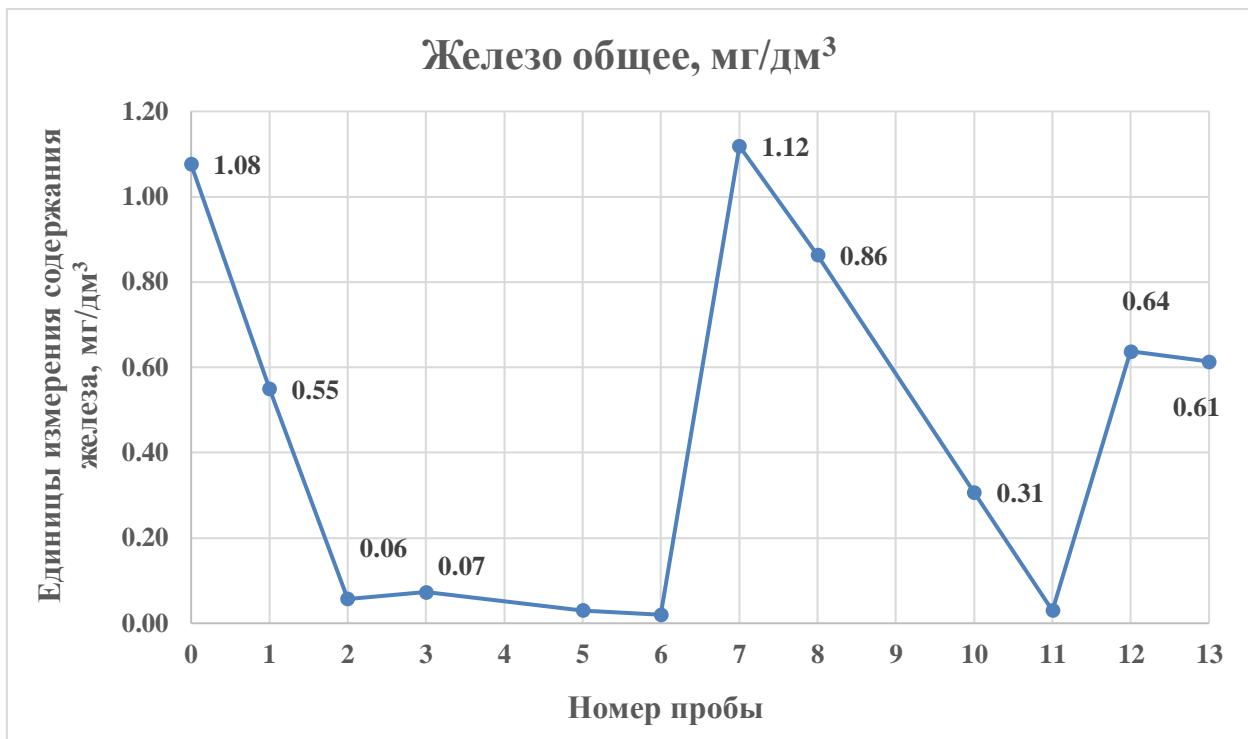


Рис. 17. Динамические изменения содержания железа в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графическому отображению результатов лабораторного анализа содержания железа, пробы №0 и №7 отличаются наивысшими значениями данного показателя, а в пробах №5, №6, №11 содержание железа настолько незначительно, что не превышает отметки в 0,05 мг/дм³.

Согласно методике исследования (ПНД Ф 14. 1:2:4.50-2023), к отобранному объему пробы (100 см³) добавляют 0,5 см³ концентрированной азотной кислоты и упаривают раствор до 1/3 объема. Полученный раствор с концентрацией железа от 0,1 до 10,0 мг/дм³ фильтруют через фильтр «белая лента» в мерную колбу вместимостью 100 см³, приливают 2,0 см³ аммония хлористого, 2,0 см³ сульфосалициловой кислоты, 2,0 см³ аммиака, pH раствора должен составлять 7-8 (по индикаторной бумаге). Доводят до метки дистиллированной водой. Тщательно перемешивают и оставляют на 5 минут до развития окраски (Рис.18). Оптическую плотность полученного раствора измеряют при длине волны λ – 425 нм. По градуировочному графику находят содержание железа общего [37].



Рис. 18. Определение содержания суммарного железа. Фото из архива автора.

2.2.10. Определение фосфатного фосфора

Фосфор является одним из главных биогенных элементов, определяющих продуктивность водоёма [11]. Соединения фосфора нередко поступают в поверхностные воды в результате хозяйственной деятельности человека, что может стимулировать процессы эвтрофикации [15]. Широкое применение удобрений с использованием фосфора также способствует загрязнению поверхностных вод. В качестве природных источников поступления фосфора в водные объекты выступают процессы выветривания и растворения пород, содержащих ортофосфаты [11].

Содержание соединений фосфора подвержено значительным сезонным колебаниям, так как оно зависит от соотношения интенсивности процессов фотосинтеза и биохимического разложения органических веществ (Рис. 19).

Фотометрическое определение фосфатного фосфора

Мерным цилиндром вместимостью 50 см³ отбирают две аликовты

отфильтрованной анализируемой воды объемом 50 см³ и помещают в две сухие конические колбы вместимостью 100 см³, добавляют в каждую колбу 10 см³ смешанного реагента (125 см³ раствора серной кислоты, 2,5 моль/дм³, 37,5 см³ раствора молибдата аммония, 75 см³ раствора аскорбиновой кислоты и 12,5 см³ раствора антимонилтартрата калия) и хорошо перемешивают. Через 15 мин измеряют оптическую плотность раствора на спектрофотометре относительно дистиллированной воды (Рис. 20).

Одновременно с пробами выполняют два параллельных определения фосфатного фосфора в холостой пробе, используя две аликвоты дистиллированной воды объемом 50,0 см³ с добавлением 10 см³ смешанного реагента [34].



Рис. 19. Динамические изменения содержания фосфора в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графическому отображению полученных результатов, наивысшая величина содержания фосфатного фосфора наблюдалась в пробе №7, что было выявлено ещё в процессе проведения эксперимента по появлению характерной синеватой окраске (Рис. 16). В пробах №0, №2, №3, №5, №10, №11, №12, №13 содержание фосфатного фосфора было настолько

незначительным, что не превышало 0,01 мг/дм³.



Рис. 20. Определение содержания фосфатного фосфора. Фото из архива автора

2.2.11. Определение нитритного азота

Содержание в поверхностных водах нитритов связано с процессами минерализации органических веществ и нитрификации. Благодаря деятельности бактерий рода *Nitrosomonas* ионы аммония окисляются до нитритных ионов [24]:



При достаточном содержании кислорода процесс окисления не останавливается, а при участии бактерий рода *Nitrobacter* нитриты окисляются до нитратов [11, 24]:



В поверхностных водах нитритный азот находится в основном в виде нитритных ионов. В водах, где значение pH опускается в кислую среду, может присутствовать некоторое количество азотистой кислоты.

Нитриты – неустойчивые компоненты природных вод. Поэтому в

условиях достаточного содержания кислорода, нитриты встречаются в незначительных количествах. Повышенные значения нитритов в водоёмах отмечаются во время летней стагнации и их присутствие обычно связывают либо с восстановлением нитратов, либо с активностью фитопланктона, так как установлена способность диатомовых и зелёных водорослей восстанавливать нитраты до нитритов. Нередко повышенная концентрация нитритов как в промежуточной стадии восстановления наблюдается в придонном слое водоёмов [11].

Фотометрический метод определения нитритов

Согласно методике исследования (РД 52.24.518-2008) мерным цилиндром вместимостью 25 см³ отбирают две аликовоты по 25 см³ профильтрованной анализируемой воды, помещают их в сухие конические колбы вместимостью 50 см³, добавляют 1 см³ раствора сульфаниламида и тщательно перемешивают. Через 5 мин прибавляют 1 см³ раствора N-(1-нафтил)этилендиамина дигидрохлорида и тщательно перемешивают. Через 10 мин измеряют оптическую плотность каждого из полученных растворов при длине волны 543 нм (Рис. 22).

Одновременно с пробами выполняют холостой опыт, используя дважды по 25 см³ дистиллированной воды [30].

Повышенное содержание нитритов указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях окисления нитритов до нитратов, что свидетельствует о загрязнении водоёма. Данные об изменении концентрации и распределения нитритов приобретают ключевое значение при проведении гидробиологических и микробиологических исследований, а также при изучении процессов самоочищения водоёмов [11].



Рис. 21. Динамическое изменение содержания нитритного азота в отобранных пробах. Фото из архива автора.

Согласно графической визуализации практической работы, наибольшее содержание нитритного азота наблюдалось в пробе №1, а в пробах №0, №2, №3, №5, №6, №10, №13 содержание нитритного азота было настолько незначительно, что не превышало 0,005 мг/дм³.

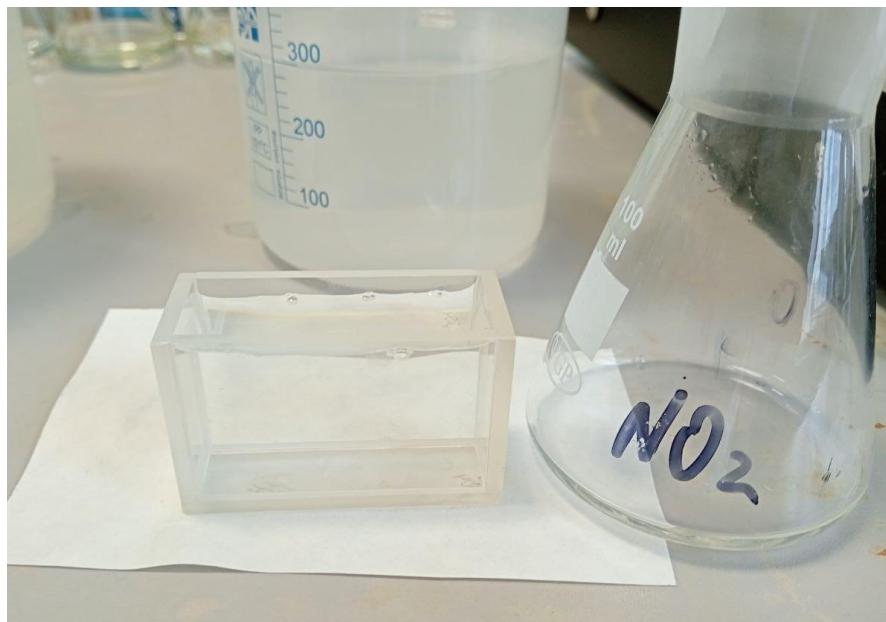


Рис. 22. Определение содержания нитритов. Фото из архива автора

2.2.12. Определение аммония

Присутствие в поверхностных водах ионов аммония связано главным образом с процессами биохимического разложения белковых веществ, дезаминирования аминокислот. В связи с этим увеличение концентрации ионов аммония наблюдается в периоды отмирания водных организмов, особенно в зонах их скопления: в придонном слое водоема, в слоях повышенной плотности фито-и бактериопланктона.

В анаэробных условиях ионы аммония могут образовываться в результате восстановления нитратов и нитритов. Высокие концентрации ионов аммония характерны для поступающих в водоемы бытовых сточных вод и стоков предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности. Основными процессами, направленными на снижение концентрации ионов аммония, являются потребление их автотрофами-фотосинтетиками и нитрифицирующими микроорганизмами.

В поверхностных водах аммонийный азот находится главным образом в виде ионов аммония и недиссоциированных молекул NH_4OH . Количественное соотношение этих форм имеет важное экологическое значение и определяется величиной pH и в некоторой степени температурными характеристиками воды.

Сезонные колебания концентрации ионов аммония обычно характеризуются понижением весной и повышением в летний период, что связано с увеличением интенсивности процессов бактериального разложения органического вещества, в результате чего происходит выделение конечных продуктов обмена. В осенне-зимний период повышенное содержание ионов аммония связано с продолжающейся минерализацией органических веществ в условиях дефицитного потребления фитопланкtonом.

Фотометрический метод определения аммония

Согласно методике исследования (ПНД Ф 14.1:2:4-262-10), к 10 см^3 пробы прибавляют несколько кристалликов сегнетовой соли и $0,5 \text{ см}^3$

реактива Несслера. Желтое окрашивание раствора, помутнение или выпадение желто-коричневого осадка указывает на присутствие ионов аммония. При повышенном содержании органических веществ, особенно гуминовых кислот, вызывающих усиление коричневой окраски после подщелачивания, проводят параллельный опыт, добавив к пробе сегнетову соль, а вместо реактива Несслера - $0,5 \text{ см}^3$ 15% - ного раствора гидроксида натрия [35].

Повышенное содержание ионов аммония нередко указывает на ухудшение санитарного состояния водоёма. Диапазон колебаний концентрации ионов аммония может свидетельствовать об интенсификации процессов эвтрофирования в водоёме, а также о степени его загрязнённости органическими веществами, которые могут поступать с бытовыми сточными водами и промышленными стоками без предварительной очистки (Рис. 23).

Повышение концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывает на свежее загрязнение, в то время как увеличение содержания нитратов – на загрязнение в предшествующее время [11].

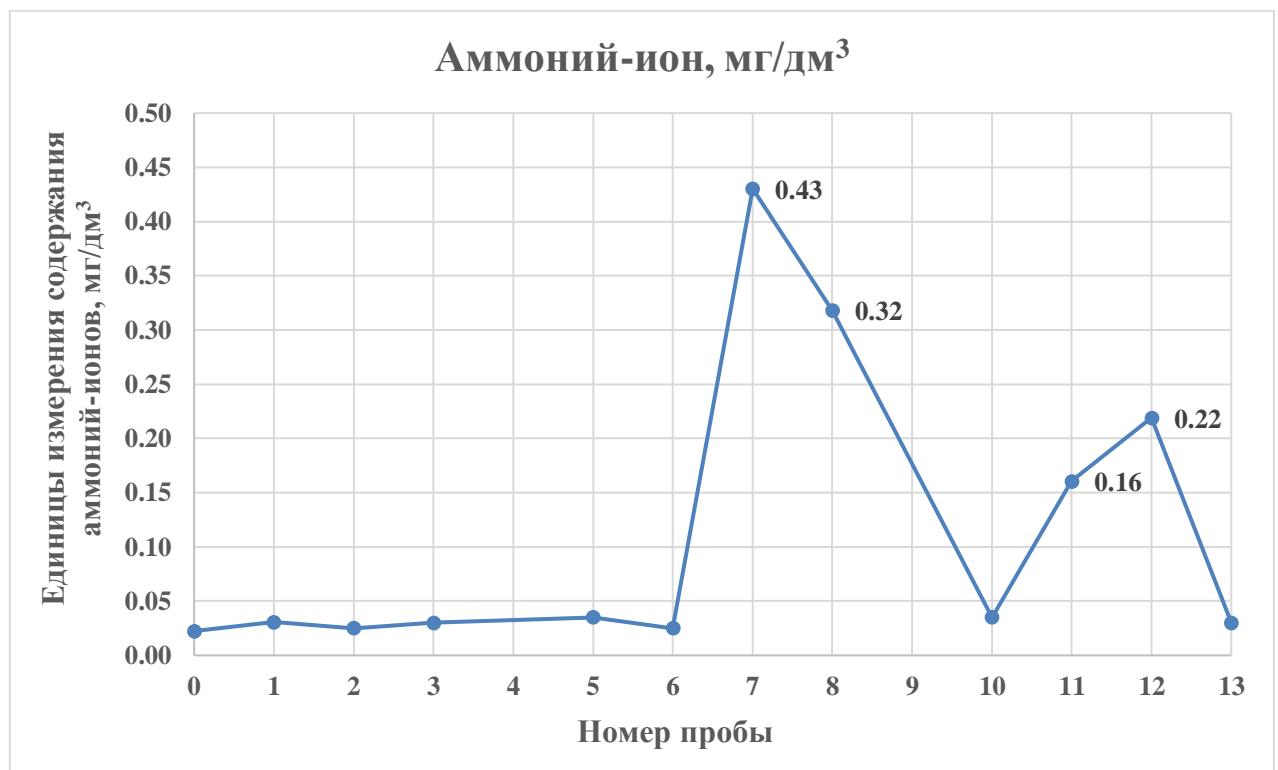


Рис. 23. Динамические изменения содержания ионов аммония в

отобранных пробах. Фото из архива автора.

В соответствии с графическим отображением полученных результатов, наивысшее содержание ионов аммония было обнаружено в пробе №7, а в пробах №0, №1, №2, №3, №5, №6, №10, №13 содержание ионов аммония было настолько низким, что не превышало 0,05 мг/дм³.

Глава 3. Обобщение экспериментальной части

Важной задачей при выезде на места отбора проб являлось ведение полевого дневника, в котором были отражены основные параметры, измеряемые одновременно с отбором проб. Кроме того, в процессе отбора проб каждой используемой таре присваивалась своя маркировка, что одновременно дублировалось в записях полевого дневника во избежание утраты необходимой информации (Таблица 5).

Таблица 5

Полевой дневник

Номер пробы	Название объекта	Дата отбора	Время отбора	Температура воды	Погодные условия	Особые условия
0	Урочище Симоногонт	28.01.2025	10:20	+1°C	+3°C, дождь	На месте отбора пробы присутствовал нехарактерный химический запах
1	Хабанский ручей	28.01.2025	10:58	+1,6°C	+3°C, дождь	Уровень воды сильно поднялся. Снежный покров очень грязный в связи с расположением вблизи дороги
2	Симоновский ручей	28.01.2025	11:13	+2,8°C	+3°C, ливень	Расположен близко к Хабанскому ручью
3	Забородский ручей	28.01.2025	11:25	+3,5°C	+4°C, ливень	
5	Леваловский ручей	28.01.2025	11:38	+3,3°C	+4°C, ливень	
6	Ручей у	28.01.2025	11:57	+5,5°C	+3°C,	

	водозабора (парк усадьбы Гостилицы)				дождь	
7	Ручей у Зрекино	28.01.2025	12:14	+1°C	+3°C, дождь	На водном объекте по берегам имеется ледовый покров
8	Чёрная речка	28.01.2025	12:26	+1°C	+3°C, дождь	
10	P. Воронка	28.01.2025	13:22	+2°C	+3°C, дождь	
11	P.Капорка	28.01.2025	13:48	+3,5°C	+3°C, дождь	
12	P.Ламошка	28.01.2025	14:10	+3°C	+3°C, дождь	
13	P. Систа	28.01.2025	14:29	+4°C	+3°C, дождь	

На следующий день по окончании полевых работ, пробы были доставлены в гидрохимическую лабораторию для проведения гидрохимического анализа. В лабораторных условиях мною был поставлен ряд экспериментов, что позволило дать качественную оценку водных объектов по основным гидрохимическим показателям, которые приведены в таблице 6 и таблице 7.

Таблица 6

Предварительные результаты экспериментов

Номер пробы	УЭП, мкСм/см	Минерализация, мг/л (NaCl)		рН	Цветность	Мутность	Запах, балл *	Массовая концентрация гидрокарбонатов	
		мг/л	г/дм ³					HCl 4,5 мл	HCl 4,2 мл
0	177,3	84,1	0,0841	6,93	0,143	0,082	3	V=100	V=100

								1,6	1,65
1	502,5	242,3	0,2423	8,04	0,175	0,211	0	V=100 9,25	V=100 9,45
2	648	319	0,319	8,62	0,011	0,019	0	V=50 6,35	V=50 6,6
3	665	324	0,324	8,11	0,006	0,022	0	V=50 6,9	V=50 7,0
5	673,5	327,5	0,3275	8,00	0,007	0,015	0	V=50 6,7	V=50 6,8
6	698,5	336	0,336	7,83	0,005	0,001	0	V=50 6,6	V=50 6,65
7	147,9	70,1	0,0701	7,08	0,276	0,123	0	V=100 2	V=100 2,1
8	348	166,5	0,1665	7,63	0,294	0,174	0	V=100 5,25	V=100 5,35
10	407,5	194,5	0,1945	8,14	0,103	0,088	0	V=100 8,2	V=100 8,25
11	402	192,4	0,1924	7,61	0,252	0,163	0	V=100 7,75	V=100 7,8
12	289,1	137,6	0,1376	7,42	0,204	0,116	0	V=100 5,55	V=100 5,7
13	398,5	191,9	0,1919	7,93	0,103	0,078	0	V=100 7,65	V=100 7,75

*Определение интенсивности запаха по ПНД Ф 12.16.1-10 от 15.04.2024

Таблица 7

Предварительные результаты экспериментов

Номер пробы	NH ₄ ⁺ фон	NH ₄ ⁺	N-NO ₂	P-PO ₄ фон	P-PO ₄	Fe
0	0,194	0,239	0,079	0,008	0,031	0,609
1	0,195	0,245	0,207	0,013	0,146	0,371
2	0,018	0,036	0,035		0,012	0,052

3	0,012	0,035	0,067		0,027	0,057
5	0,011	0,036	0,057		0,028	0,038
6	0,008	0,028	0,053		0,093	0,038
7	0,413	0,709	0,144	0,008	0,391	0,696
8	0,427	0,654	0,154	0,005	0,089	0,582
10	0,144	0,175	0,083		0,022	0,218
11	0,348	0,478	0,189	0,004	0,040	V=50 мл 0,270
12	0,308	0,474	0,176	0,003	0,035	0,428
13	0,154	0,171	0,043	0,003	0,031	0,366

Следующим этапом в моей экспериментальной части работы было подведение итоговых результатов, исходя из первичных данных, которые в свою очередь отражены в таблице 8 и таблице 9.

Таблица 8

Итоговые результаты экспериментов

Методика	Изм. рН- метром рН-410	РД 52.24.493- 2020	Изм. Кондукто- метром АНИОН 7020	Изм. Кондукто- метром	ПНД Ф 14.1:2:4.213- 05	РД 52.24. 497-2019
№ пробы	pH, ед. pH	Гидро- карбонаты, мг/дм ³	УЭП, мкСм/см	Мин., мг/дм ³	Мутность, ЕМФ	Цветность, °Цв
0	6,9	47	177	84	2,1	98
1	8,0	276	503	242	14	121
2	8,6	372	648	319	1,2	6,0
3	8,1	415	665	324	2,1	<5,0
5	8,0	403	674	328	0,2	<5,0
6	7,8	400	699	336	<1,0	<5,0
7	7,1	58	148	70	2,5	191
8	7,6	157	348	167	7,4	204

10	8,1	249	408	195	5,5	70
11	7,6	235	402	192	7,4	174
12	7,4	163	289	138	4,5	141
13	7,9	230	399	192	4,7	70

Таблица 9

Итоговые результаты экспериментов

Методика	ПНД Ф 14.1:2:4- 262-10	РД 52.24.518- 2008	РД 52.24.382- 2019	ПНД Ф 14. 1:2:4.50- 2023
№ пробы	Аммоний- ион, мг/дм ³	Нитритный азот, мг/дм ³	Фосфатный фосфор, мг/дм ³	Железо общее, мг/дм ³
0	0,02	<0,005	<0,010	1,08
1	0,03	0,010	0,040	0,55
2	<0,05	<0,005	<0,010	0,06
3	<0,05	<0,005	<0,010	0,07
5	<0,05	<0,005	<0,010	<0,05
6	<0,05	<0,005	0,027	<0,05
7	0,43	0,006	0,119	1,12
8	0,32	0,007	0,024	0,86
10	<0,05	<0,005	<0,010	0,31
11	0,16	0,009	<0,010	<0,05
12	0,22	0,008	<0,010	0,64
13	<0,05	<0,005	<0,010	0,61

Важным элементом системы мониторинга водных объектов является оценка их состояния, включающая этапы выбора показателей и их измерение. Под состоянием водной экосистемы понимается характеристика этой системы по совокупности количественных и качественных показателей, состав которых зависит от целей водопользования. В связи с этим, для

характеристики состояния водной экосистемы необходимы сведения, дающие полную характеристику о составе и свойствах воды, а также обеспечивающие наличие информации о протекающих в водном объекте процессах, которые создают среду обитания для гидробионтов, способствующих самоочищению воды и формированию её качества. Однако на данном этапе такое комплексное оценивание невозможно ввиду отсутствия экологических нормативов (предельно допустимых экологических нагрузок), разработка которых является довольно трудной задачей из-за слабой изученности всех взаимодействующих факторов, процессов, явлений, ответственных за состояние водной экосистемы и её реакция на антропогенное воздействие. Поэтому на практике применяется упрощенный подход, при котором составляющие экосистему биотическая и абиотическая компоненты, а также характеризующие их показатели рассматриваются и оцениваются раздельно и совокупно с использованием существующих критериев (предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ – ПДК_{зв}) и классификаций для различных видов водопользования [13].

Глава 4. Влияние основных параметров исследуемых водных объектов на функционирование фонтанов Петергофа

4.1. История фонтанной системы Петергофа

Водоподводящую систему на Ропшинских высотах запустил лично Петр I в 1721 году (Рис. 24) [42]. Водоподводящая система Петергофа является памятником отечественного инженерного искусства первой четверти XVIII века [17]. В 2021 году отмечалось ее 300-летие, и за это время принцип подачи воды в фонтаны не изменился. Система работает без единого насоса, исключительно за счет естественного напора воды. Для фонтанного комплекса были объединены несколько родников и ручьев, которые стекают с возвышенности [42]. Начало водоподводящей системы Петергофа (р. Шинкарка) формировалось за счет родниковых стоков в пределах уступа Ижорского плато. Вода из подземных источников направлялась в два искусственно созданных канала – Старо-Петергофский и Ново-Петергофский, которые затем соединялись в один канал (р. Шинкарку). После прохождения через разветвленную сеть каналов, прудов и фонтанов Петергофа вода поступает в Финский залив [17]. Однако вода поступает в парк не только по природному водоводу, но и по чугунным трубам, за счет уменьшения диаметра которых и создается напор [42].



Рис. 24. Петергоф в зимний период. Фото из архива автора

За годы Первой мировой войны и революционных событий фонтанная система Петергофа претерпела кризисное состояние: обвалились берега каналов и прудов, русла рек заболотились, ручьи заросли кустарником. 24 мая 1923 года был произведён осмотр фонтанов и фонтанных сооружений Петергофа, в результате чего были сделаны неутешительные выводы о состоянии данных объектов. Отсутствие контроля за водоводом привело к поломке некоторых фонтанов.

С 1924 года сотрудники Управления Петергофских дворцов-музеев приступили к восстановительным работам по возобновлению функционирования фонтанов. Обследования 1932 года показали, что некоторые пруды полностью заросли и превратились в болота. В связи с этим мощность напора воды в фонтанах значительно уменьшилась.

В годы Великой Отечественной войны водовод существенно пострадал от разрушений, и его восстановление потребовало значительных усилий. [9].

Из-за уничтоженных шлюзов, мостов и других гидротехнических сооружений, повреждённых труб, водоподводящая система Петергофа полностью вышла из строя. Однако, уже в январе 1944 года начались восстановительные работы разрушенных парков и фонтанов (Рис.25). Проведённые ремонтно-реставрационные работы не смогли полностью устранить проблемы водоподводящей системы. Требовалась очистка прудов и каналов, строительство мостов, замена шлюзов. По прошествии 25 лет на каналах были проведены большие работы: очищены пруды, русла каналов, реконструированы деревянные шлюзы, а в местах, подвергающихся размыву, берега укрепили железобетонными сваями [3].

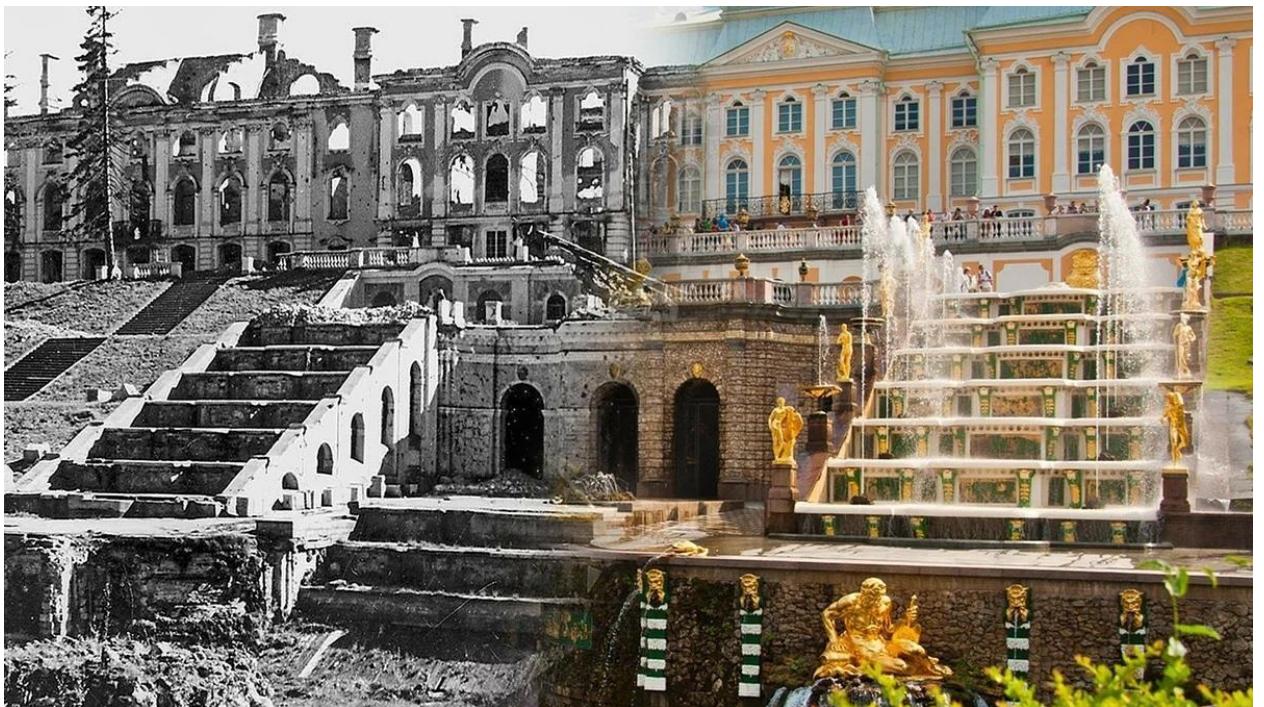


Рис. 25. Масштаб разрушений за годы Великой Отечественной войны [40]

К 1991 году, в результате интенсивного развития сельского хозяйства на Ижорской возвышенности существенно ухудшилось качество воды в водоподводящей системе. С целью недопущения дальнейшего ухудшения состояния был предложен ряд мер, направленных на сохранение уникального объекта [26].

Помимо активного развития сельского хозяйства, водоподводящая

система испытывает дополнительную нагрузку. Отдельные участки территории водосбора водоподводящей системы фонтанов Петергофа, переданы в частную собственность и подвергаются коттеджной застройке. Подобное хозяйственное освоение земель в окрестностях водовода сопровождается новыми проблемами: загрязнение путём сброса канализационных вод и бытовых отходов. Кроме того, на приусадебных территориях нередко осуществляется бурение водоносных скважин с целью использования вод для хозяйственных нужд. Таким образом, воды Петергофских фонтанов подвергаются не только антропогенному загрязнению, но и истощению.

Крайне негативное влияние на фонтанную систему оказывает кольцевая автодорога, которая проходит рядом с Шинкарским прудом (основным водораспределительным объектом). К сожалению, многие владельцы автомобилей в нарушении действующего законодательства используют чистую воду для целей помывки своей техники, что значительно снижает качество воды, попадающей затем в фонтанную систему.

Говоря о положительных моментах, следует отметить, что к 2035 году в районе Шинкарского пруда планируется создать государственный природный заказник, что позволит сохранить участки естественных природных ландшафтов (верховое Порзоловское болото) [9]. В 1990 году архитектурно – парковый ансамбль "Петергоф" был внесен во Всемирный список культурного наследия ЮНЕСКО, а в 2008 году признан одним из семи чудес России [41].

4.2. Гидрология Ижорского плато и Петергофская водоподводящая система

В зависимости от погодных и иных условий соотношения воды испаряющейся и попадающей в подземные слои бывают различными. По наблюдениям метеорологической станции в Павловске, которые проводились в 1878-1907 гг., в среднем количество осадков составило 657 мм в год, а

испарение 441 мм в год. То есть испарение составило почти 67% от всех выпавших осадков. По данным Л. Е. Грейсера, среднее значение годового количества осадков, выпавших на Ижорскую возвышенность за 1951-1988 гг., составило 684 мм, а на испарение пришлось 362 мм, т.е. почти 53% [6].

Таким образом, для Ижорского плато по данным на вторую половину XX века, в среднем, около 40% атмосферных осадков уходит на питание подземных вод. Доля атмосферных осадков, просачиваясь через почву, попадает в слои карбонатных пород и медленно их растворяет.

Процессы растворения создают в таких породах различные карстовые формы: каналы, каверны, полости. При этом структура известняков Ижорского плато не позволяет здесь образовываться мощным карстовым пещерам. В наших условиях размеры этих полостей очень малы - чаще всего сечение карстовых каналов измеряется сантиметрами.

В этих верхних трещиноватых водоносных известняковых слоях на глубине до 15-20 метров от поверхности земли и накапливаются подземные воды, питающие родники, из которых, в результате, получают воду фонтаны Петергофа. Количество поступающей воды в подземные и поверхностные водные объекты варьирует в зависимости от сезона года. Выделяют весенний максимум, связанный с таянием снега, и осенний максимум, обусловленный продолжительными осадками, которые также увеличивают приток воды. Подобные сезонные колебания уровня воды в подземных водоносных слоях могут достигать нескольких метров. Поэтому можно наблюдать, как те родники, которые находятся ближе к верхним уровням водоносных слоев, в некоторых случаях могут пересыхать, тогда как источники, питающиеся водой с нижних слоев, продолжать функционировать. Наглядным примером может служить засушливая осень и ранее похолодание 1908 года. В результате особенностей погодных условий многие родники и речки к лету 1908 года пересохли. [18, 22].

4.3. Выезд на встречу с представителем экологического направления в Государственном музее заповеднике «Петергоф»

Проект водоподводящей системы фонтанов Петергофа был разработан инженером-гидравликом Василием Туволковым в 1712 году. Уникальность решения заключалась в работе фонтанного комплекса без насосов и другого специального оборудования. Работа фонтанов Петергофа, как и 300 лет назад, основывается исключительно на действии естественных сил (естественный перепад высот).

Качество воды фонтанов Петергофа согласуется с нормами, предъявляемыми к водоёмам рекреационного значения (водоёмы пригодные для купания), где качество воды соответствует II категории [33]. Лишь один Никольский пруд относится к водоёмам I категории, так как до 2000-х годов использовался в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. Сотрудники придерживаются именно такой формы контроля в связи с отсутствием соответствующего нормирования качества воды в фонтанах (на данный момент отсутствует система ПДК химических веществ в воде фонтанов). Особое внимание при оценке качества воды фонтанов уделяется в первую очередь санитарно-паразитологическому анализу (микробиология; наличие патогенов, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека). На встрече было указано, что список других химических показателей, свидетельствующих о качестве воды, следует уточнять исходя из аккредитации лаборатории и нормативов II категории.

С точки зрения функционирования фонтанов наиболее подходящим временем для отбора проб воды и их анализа является весенний период наблюдений (апрель-май), что совпадает с открытием и началом работы фонтанов. Кроме того, без внимания не остались и научные изыскания, в рамках которых было решено провести первый отбор проб на исследуемых водных объектах в зимний период с целью выявления минимального уровня их загрязнения (концентраций загрязняющих веществ). Эти данные будут

полезны с точки зрения сравнения таковых показателей за предполагаемый максимальный уровень загрязнений, ожидаемый в весенний период. Кроме того, полученные данные в ходе серии отборов проб позволяют получить репрезентативные результаты и проследить изменение исследуемых параметров в динамических условиях, на основании чего будет сформировано комплексное заключение об экологическом состоянии.

В ходе разговора было отмечено, что Порзоловское болото, которое участвует в питании водой фонтанов Петергофа, имеет не только полезное свойство. В связи с возникновением обильных паводков и массовым таянием снега в весенний период, происходит повышение уровня болота, что нередко обуславливает появление торфянистого оттенка и запаха в системе фонтанов. По результатам исследования воды на органолептические свойства, интенсивность запаха была оценена в 3 балла (природный, болотный характер) при условии, что нормой считается оценка в 2 балла. Без внимания не остался и летний период, так как именно в это время года в стоячих водоёмах наблюдается явление активного развития сине-зелёных водорослей.

Помимо сезонных изменений состояния воды в фонтанах Петергофа, имеется и ещё несколько трудностей за соблюдением контроля качества. Первая трудность заключается в стремительном росте урбанизации близлежащих территорий. Малоэтажные жилые постройки не подлежат государственной экологической экспертизе (проверяются только стоки, так как неочищенная и необеззараженная вода может попасть в систему фонтанов), что может прямо или косвенно оказать воздействие на окружающую среду и сам объект культурного наследия. Вторая трудность, которая по праву может называться потенциальной катастрофой – мусорные свалки.

Заключение

Данная работа имеет не только теоретическую базу знаний, но и обладает практической значимостью, которая выражается в неоднократном выезде на полевые работы и деловые встречи. Кроме того, в рамках подготовки данной работы был выполнен отбор проб на 12 объектах. Результаты отбора проб нашли своё отражение в гидрохимическом исследовании по основным показателям качества воды.

Выводы

1. Главной особенностью геологического строения Ижорского плато является значительная закарстованность, что проявляется в образовании карстовых пустот и трещин, в результате чего вода по трещинам уходит в подземные горизонты и выходит на поверхность в виде родников и источников. Эти подземные воды являются основным источником питания рек — Вруды, Лемовжа, Оредеж и многих других.

2. Территория Ижорского плато относится к районам интенсивного хозяйственного освоения, под влиянием которого возрастает степень загрязнения поверхностных водных объектов и подземных вод. В связи с этим оценка качества водных ресурсов и выявление загрязнителей водных объектов имеет ключевое значение для водоснабжения юго-западной части Ленинградской области.

3. Гидрохимический анализ отобранных проб свидетельствует об отсутствии, превышающих норму, значений выбранных для исследования показателей. В ходе выполнения экспериментальной части работы были обнаружены незначительные превышения на общем фоне некоторых показателей, что лишь согласуется с динамическими изменениями показателей в зависимости от природных условий.

4. Система фонтанов работает без единого насоса, исключительно за счет естественного напора воды. Для фонтанного комплекса были объединены несколько родников и ручьев, которые стекают с

возвышенности. Начало водоподводящей системы Петергофа (р. Шинкарка) формировалось за счет родниковых стоков в пределах уступа Ижорского плато. Вода из подземных источников направляется в два искусственно созданных канала – Старо-Петергофский и Ново-Петергофский, которые соединяются в один канал.

5. В связи с отсутствием соответствующего нормирования качества воды в фонтанах, оценка качества воды проводится в соответствии с нормами, предъявляемыми к водоёмам рекреационного значения. Будущее уникального памятника культурного и исторического наследия по самым неутешительным прогнозам может являться неблагоприятным по причине стремительного роста урбанизации близлежащих территорий. Отдельные участки территории водосбора водоподводящей системы фонтанов Петергофа, переданы в частную собственность и подвергаются активной коттеджной застройке, что может привести к истощению и загрязнению водных ресурсов, питающих каскад Петергофских фонтанов.

Список литературы:

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с.
2. Аристовская Т.В. Аккумуляция железа при разложении органоминеральных комплексов гумусовых веществ микроорганизмами. Докл. АН СССР, 1961. – вып. 136. – С. 954-957.
3. Бондарев С.В. Водоподводящая система Петергофа // Хранители и создатели. – Санкт-Петербург, 2018. - №64/78 – С. 27-35.
4. Воронюк Г. Ю., Питулько В. М., Кулибаба В. В. Пространственно-временная изменчивость химического состава подземных вод на территории Ижорского плато // Региональная экология. – Санкт-Петербург, 2015. - № 6 (41) – С. 67-79.
5. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
6. Грейсер Л.Е. Формирование ресурсов подземных вод ижорского месторождения // Записки Ленинградского Горного института им. Г.В. Плеханова. – 1991, том 129. – С. 58-63.
7. Дмитренко В.П., Сотникова Е.В., Кривошеин Д.А. Экологическая безопасность в техносфере: учебное пособие. – СПБ: Лань, 2016. – 524 с.: ил.
8. Децук В. С. Методы исследования качества сточных и природных вод. – Гомель: БелГУТ, 2008. – 46 с.
9. Егоров Д.П. Петергофский водовод: современное состояние и перспективы использования // Научные исследования. – Санкт-Петербург, 2017. - №2 (13). – С. 69-72.
10. Жданов С.В., Куриленко В.В. Проблемы водопользования Ижорского месторождения подземных вод // Записки Горного института. – 2013. - №200 – С. 216-221.

11. Кишкинова Т.С., Каплин В.Т., Страдомская А.Г. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 541 с.: ил.
12. Куриленко В.В. Основы управления природопользованием и надропользованием. Экологический менеджмент: учебное пособие. – СПБ: СПБГУ, 2000. – 219 с.
13. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПБ: Гидрометеоиздат, 2001. – 444 с.
14. Орлова Т.Н., Ганжа В.В. Методы анализа и очистки природных и сточных вод: метод. указания. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – 67 с.
15. Орлова Т.Н., Орлов В.Ю., Базлов Д.А. Химия природных и промышленных вод: учеб. пособие. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 120 с.
16. Парфенова Г.К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод. – Томск: Аграф-пресс, 2010. – 204 с.
17. Петров П.В. Петергофская водоподводящая система: от создания до наших дней // Окружающая среда. – 2023. - № 11. – С. 7-16.
18. Погребов Н.Ф. О результатах гидрогеологических исследований, произведенных с целью выяснения вопроса о возможности снабжения Санкт-Петербурга ключевой водой : доложено в заседании Гидрол. секции 30-го дек. 1911 г. – Санкт-Петербург, 1913. – С. 60-78.
19. Полищук О.Н. Основы экологии и природопользования: учебное пособие. – СПБ: Проспект Науки, 2024. – 144 с.
20. Полякова А.В. Гидрохимия: учебн. пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2009. – 164 с.
21. Порфириева А.В. Гидрохимический анализ: учеб. пособие / Порфириева А.В., Зиятдинова Г.К., Медянцева Э.П. и др. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 88 с.
22. Потравнов А.Л., Хмельник Т.Ю. От реки Ковали до Самсоновской чаши. История водоподводящей системы фонтанов Петергофа. – Санкт-Петербург: Аврора, 2019. – 232 с.: ил.

23. Решетняк О.С. Пространственно-временные закономерности трансформации химического состава и качества речных вод европейской части России: дис. на соискание ученой степени доктора географических наук / Южный Федеральный Университет. – Ростов-на-Дону, 2024. – 388 с.

24. Рыбка К.Ю. Механизмы очистки сточных вод от биогенных элементов (азота и фосфора) в фито-очистных системах // Экосистемы: экология и динамика. – 2018, том 2, № 4. – С. 144-171.

25. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки луга и рек бассейна финского залива от северной границы бассейна реки луги до южной границы бассейна реки невы. Общая характеристика бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от северной границы бассейна реки Луги до южной границы бассейна реки Невы, 2015. – 117 с., ил.

26. Федоров А.С. Петергофские фонтаны под угрозой экологической катастрофы // Наука и жизнь. – 1994. - № 3. – С. 36-41.

27. Хазанович К.К. Геологические памятники Ленинградской области. – Л.: Лениздат, 1982. – 79 с., ил.

Список использованных методик:

28. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности : нац. стандарт Российской Федерации : изд-е официальное : утв. и введен в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 17 октября 2016 г. N 1412-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01. – Москва : Российский институт стандартизации, 2016. – 20 с.

29. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб : нац. стандарт Российской Федерации : изд-е официальное : утв. и введен в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 10 сентября 2020 г. № 640-ст : введен впервые : дата введения 2021-29-07. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 70 с.

30. РД 52.24.518-2008. Массовая концентрация нитритов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)этилендиамина дигидрохлоридом : утв. и введен в действие Заместителем Руководителя Росгидромета 1 февраля 2008 года : введен впервые : дата введения 2008-05-20. – Ростов-на-Дону, 2008. – 30 с.

31. РД 52.24.495-2017. Водородный показатель вод. Методика измерений потенциометрическим методом : утв. Руководителем Росгидромета 26.12.2017 и введен в действие приказом Росгидромета от 19.01.201 № 23 : введен впервые : дата введения 2018-10-01. – Ростов-на-Дону, 2017. – 17 с.

32. РД 52.24.497-2019. Цветность природных вод. Методика измерений фотометрическим и визуальным методами : утв. Руководителем Росгидромета 22.10.2019 и введен в действие приказом Росгидромета от 08.11.2019 № 578 : введен впервые : дата введения 2020-11-01. – Ростов-на-Дону, 2020. – 23 с.

33. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22 июня 2000 года : введен 01 января 2001 года. – Москва, 2001. – 14 с.

34. РД 52.24.382-2019. Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах. Методика измерений фотометрическим методом : утв. Руководителем Росгидромета 25.01.2019 и введен в действие приказом Росгидромета от 22.03.2019 № 126 : введен впервые : дата введения 2019-11-01. – Ростов-на-Дону, 2017. – 31 с.

35. ПНД Ф 14.1:2:4-262-10 Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реагентом Несслера : рассмотрена и одобрена федеральным бюджетным учреждением

«Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» (ФБУ «ФЦАО») : дата введения 2010-15-07. – Москва, 2010. – 26 с.

36. ПНД Ф 14.1:2:4.213-05. Методика измерений мутности проб питьевых, природных поверхностных, природных подземных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и по формазину : утв. 22 апреля 2019 года и введен в действие с 01 октября 2019 года : наст. изд-е введено в действие взамен ЛНДФ 14.1:2:4.213-05 : дата введения 2019-22-04. – Москва, 2019. – 27 с.

37. ПНД Ф 14. 1:2:4.50-2023. Методика измерений массовой концентрации общего железа в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с сульфосалициловой кислотой : рассмотрена и одобрена федеральным бюджетным учреждением «Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия» (ФБУ «ФЦАО») : дата введения 2011-23-03. – Москва, 2011. – 22 с.

Интернет ресурсы:

38. <https://a-121.ru/izhorskaya-vozvyshennost/> - ссылка на рис. 1.
39. <https://rivergid.ru/ленобласть/ковashi/kovashi/> - ссылка на рис. 4.
40. <https://author.today/post/184543> - ссылка на рис. 21.
41. Петергоф [Электронный ресурс]: Государственный музей заповедник «Петергоф» – Режим доступа: <https://peterhofmuseum.ru/objects/peterhof> – (Дата обращения 20.02.2025)
42. Водоподводящая система Петергофа [Электронный ресурс]: Чугунный водовод и водоподводящая система Петергофа – Режим доступа: https://peterhoflugovoy.ru/history_06 – (Дата обращения 06.03.2025)
43. Гугл Земля [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://earth.google> – (Дата обращения 19.05.2025)