



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

Кафедра Информационные технологии и системы безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(Бакалавр)

На тему Методика непараметрического анализа статистической  
однородности и связи экологических показателей водных объектов

Исполнитель Брезгунов Басиль Валерьевич  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доктор технических наук  
(ученая степень, ученое звание)

Завгородний Владимир Николаевич  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
доктор технических наук  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
Бурлов Вячеслав Георгиевич  
(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Санкт-Петербург  
2023

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	6
1.1 Общее описание гидрографического и экологического состояний реки Охты. ....	6
1.1.2. Рельеф, почвенный покров, растительность .....	9
1.1.3 Характеристика гидрохимического режима.....	10
1.1.4 Ввод выборочных показателей многомерных временных рядов для оценки общего экологическое состояние реки Охты. ....	11
1.2 Понятие статистической гипотезы .....	15
1.3 Сравнительный анализ параметрического и непараметрического методов математической статистики .....	16
1.4 Характеристика непараметрических методов проверки однородности и связи экологических наблюдений.....	17
1.4.1 Ранговый критерий Вилкоксона .....	17
1.4.2 Критерий Вилкоксона – Манна – Уитни .....	18
1.4.3 Критерий типа Колмогорова-Смирнова .....	19
1.4.4 Критерий Спирмена .....	20
1.4.5 Коэффициент корреляции Кенделла .....	20
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАТНСАД И EXCEL .....	23
2.1 Характеристика и особенности программного обеспечения MathCad. ....	23
2.2 Характеристика инструментальных средства EXCEL .....	26
2.3 Описательная статистика экологических показателей на реке Охте. ....	27
ГЛАВА 3. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ОХТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ МАТНСАД И EXCEL. ....	38
3.1 Исходные данные. ....	38
3.2 Проверка гипотезы об однородности двух выборок по критерию Вилкоксона.....	41

3.3 Проверка гипотезы об однородности двух выборок по критерию Вилкоксона – Манна – Уитни .....	43
3.4 Оценка тесноты связи двух выборок по критерию Спирмена .....	45
3.5 Техничко-экономическое обоснование.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	54
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ: .....	56

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы.** В настоящее время человечество находится на пике научно-технического прогресса. Объём производственных мощностей удваивается каждые 10-15 лет. Деятельность в сфере НТК время от времени влечёт за собой проблемы и катастрофы техногенного характера, в том числе связанные с водными объектами планеты.

В связи с этим актуальность задачи применения методов непараметрической статистики для анализа статистической однородности экологических явлений обусловлена необходимостью точной и объективной оценки состояния морской среды и своевременной реакции на изменения её параметров.

Цель использования методики непараметрического анализа для оценки статистической однородности и связей экологических показателей в районе морского объекта заключается в выявлении значимых отклонений в экологических показателях на рассматриваемой территории. Она направлена на определение наличия или отсутствия статистически значимой связи между экологическими показателями, что позволяет более точно определять влияние различных факторов на экологическую ситуацию в районе морского объекта и принимать эффективные меры для её улучшения.

Использование методов непараметрической статистики позволяет более точно определить характеристики экологических явлений и выявить их закономерности без предварительных предположений о распределении параметров.

Решение этой задачи имеет целый ряд практических целей, в том числе возможность более эффективного контроля за состоянием морской среды, планирования экологических мероприятий и оценки их воздействия. Прикладная задача в области совершенствования морских информационных систем заключается в интеграции результатов анализа экологических явлений с другими данными, что позволяет получить более полную картину состояния морской среды и улучшить качество принимаемых на её основе решений.

**Целью** данной выпускной квалификационной работы является разработка методики непараметрического анализа для оценки статистической однородности и связи экологических показателей в районе морского объекта — река Охта.

**Задачи выпускной квалификационной работы:**

- 1) Проанализировать параметрические и непараметрические методы исследования
- 2) Выбор и обоснование статистических критериев для оценки многомерных временные рядов экологического мониторинга реки
- 3) Расчеты по выбранным критериям с использованием пакета Microsoft Excel и системы компьютерной алгебры Mathcad.

**Объект выпускной квалификационной работы:** многомерные временные ряды экологического мониторинга (гидрохимический режим) реки Охта

# **ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО И ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

## **1.1 Общее описание гидрографического и экологического состояний реки Охты.**

Река Охта находится на территории России, протекает через Ленинградскую область и город Санкт-Петербург. Река имеет длину примерно 150 километров и является правым притоком Невы.

Гидрографическое состояние реки Охты довольно разнообразно. В верхнем течении реки преобладает горный характер рельефа. В среднем и нижнем течении реки Охта характерно пойменное расширение речного русла с периодическим затоплением прилегающих территорий. Основным источником питания реки являются воды подземных и поверхностных источников, а также природные и искусственные водоемы.

Экологическое состояние реки Охты находится под угрозой из-за сильного загрязнения воды в городской зоне Санкт-Петербурга и прилегающих территориях. Кроме того, на реку Охту воздействуют различные промышленные и сельскохозяйственные предприятия. В реке встречаются также инородные виды растений и животных, которые могут оказывать негативное влияние на местную экологию.

Река Охта является важным объектом регулирования гидрологических режимов в городе Санкт-Петербурге и осуществляет важную экономическую функцию в транспортном комплексе. Однако, для сохранения природной баланса и обеспечения экологической безопасности необходимо проводить комплекс мероприятий по улучшению экологического состояния реки Охты.

Бассейн реки Охты относится к системе водотоков и водоемов Балтийского бассейнового округа. Исток реки расположен в районе Лемболовских высот во Всеволожском районе Ленинградской области. Река течет с севера на юг и впадает в Неву в 12,5 км от ее устья. Р. Охта является

крупнейшим правым притоком р. Невы в черте города. Длина Охты от истока до устья составляет 90 км. Площадь бассейна реки Охты – 768 км<sup>2</sup>. Бассейн реки на северо-западе имеет границы с бассейнами рек, расположенных на восточном побережье Финского залива, на северо-востоке – с бассейнами рек Ладожского озера и на востоке – с верхними притоками реки Невы. [6]

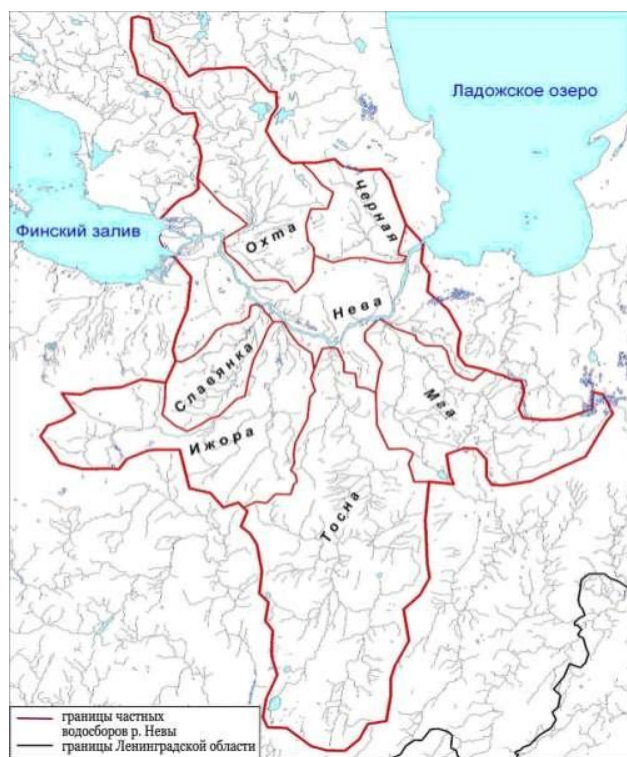


Рис. 1.1. Карта-схема границ водосборов основных притоков р. Невы. [4]

Густота речной сети бассейна Охты составляет 1,29 км/км<sup>2</sup>. Средний уклон реки – 1,4 ‰, средний уклон водосбора – 12,3 ‰. [16] Особо охраняемые природные территории в бассейне реки Охта отсутствуют. [2]

В верховьях течения, вблизи деревни Елизаветинка, река Охта протекает через искусственно-созданное водохранилище – Елизаветинское озеро. Наиболее крупные притоки Охты в этом районе - река Харвази длиной 12 км и Пипполовка длиной 25 км. В среднем течении Охты расположены следующие населенные пункты: Вартемяки, Токсово, Сяргы, Аудио, Варкалово, Энколово, Капитолово, Лаврики, Новое Девяткино, Мурино, на территории которых впадают некоторые небольшие ручьи и речки (например, Токса, Каменный ручей, Капральев ручей). Далее река течет по территории города Санкт-Петербурга. Муринский ручей, берущий начало в лесопарке Сосновка, является

первым крупным притоком в черте города. [6] Далее по течению расположено Охтинское водохранилище (рис. 1.2) с площадью водосбора 14,6 км<sup>2</sup>. Площадь зеркала водохранилища составляет 1,08 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 2,7 м. В водохранилище сосредоточен объем воды в сумме 2,91 млн м<sup>3</sup>. Водохранилище является искусственно созданным и используется главным образом для водоснабжения промышленных предприятий, водоем принимает сточные воды, а также используется в целях рекреации [5]. Пруд отделяется от нижнего плеса плотиной (рис. 1.3), поднимающей уровень воды до 7-8 м. [2]

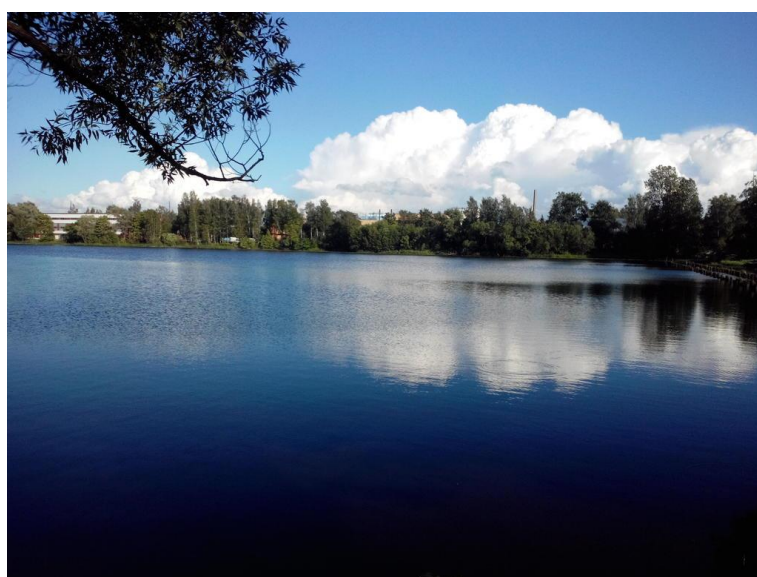


Рис. 1.2. Охтинское водохранилище. [17]



Рис.1.3. Охтинская плотина. [16]



В Охтинское водохранилище с правой стороны впадают приток - Безымянный ручей, длиной 6,1 км [6]. Также в черте Санкт-Петербурга Охта принимает такие крупные притоки, как Лубья (длина 26 км), Жерновка (длина 10 км), Оккервиль (длина 18 км).

Охта является судоходной рекой на протяжении 8 км от устья [5]. На территории бассейна Охты осуществляется интенсивное использование водных ресурсов, поскольку данный регион имеет высокоразвитую хозяйственно-экономическую деятельность [6].

Промышленное производство является ведущей отраслью экономики как Санкт-Петербурга, так и Ленинградской области. На территории города расположено свыше 700 крупных и средних производственных предприятий, а также более 20 тысяч малых предприятий. На территории Ленинградской области развиты следующие виды промышленного производства: лесная, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная, пищевая, также развито машиностроение, металлургия, электроэнергетика.

### **1.1.2. Рельеф, почвенный покров, растительность**

Территория бассейна реки Охта относится к группе озерно-ледниковых песчаных ландшафтов [5]. Тип ландшафта преимущественно равнинный, а истоки реки расположены на склоне водораздельной северной возвышенности, в районе Лемболовских высот, имеющих высоту около 200 м над уровнем моря (см. приложение 8 и 9). Соединение двух ручьев на данной территории считается началом реки. Ниже по течению после слияния долина реки разработана достаточно хорошо – ее ширина составляет 50-80 м [6].

Естественный дренаж слабый.

Источником увлажнения являются атмосферные осадки и грунтовые воды. Степень увлажнения варьируется от нормального до постоянно избыточного [4].

Пойма реки прерывистая, ровная [5]. Русло реки является хорошо врезанным, слабоизвилистым, а его ширина изменяется в нижнем течении от 40 до 60 м. Берега крутые, имеющие высоту от 4 до 5 м над уровнем воды в период

межени. Дно реки ровное, сложено в верхней части бассейна в большей мере песчаными породами, в нижней – суглинистыми и глинистыми.

Река берет свое начало в 8 км западнее поселка Лемболово и протекает по Приневской низменности. Верхняя и средняя часть течения имеет возвышенный и холмистый рельеф, южнее река Охта течет по болотистой местности с уклоном в сторону реки Невы [5].

Склоны долины реки умеренно крутые. У подножья склонов имеются выходы грунтовых вод [6].

Залесенность бассейна реки составляет – 37 %. Наибольшая часть лесов расположена в верхней части бассейна. Заболоченность – 9 %, озерность – 1% [16].



Рис.1.4. Река Охта под Ириновским мостом.

Вдоль р. Охты и ее притоков до границы города берега, как правило, заняты постройками и отведены под промышленные предприятия, остальная часть используется огородами или задернована [5].

### **1.1.3 Характеристика гидрохимического режима**

Гидрохимический режим поверхностных вод на территории бассейна р. Охты определяется высокой переувлажненностью толщи почвогрунта водозаборов на протяжении всего года. Под действием данного фактора происходит вынос продуктов выветривания горных пород и распад

растительных остатков. Таким образом, для территории бассейна р. Охты характерны дерново-подзолистые почвы с обедненным минерально-солевым составом, а в низинах наблюдается формирование торфяно-болотных почв. Выветривание горных пород в верхних слоях обусловлено содержанием в породах сульфатов и хлоридов. Вышеперечисленные факторы объясняют формирование маломинерализованных вод на данной территории [5].

Минерализация вод на территории бассейна р. Охты изменяется в годовом цикле и варьируется в следующем диапазоне: 30-450 мг/л. В период зимней и летней межени достигается максимальная минерализация – 400-450 мг/л, что объясняется переходом речной сети на питание подземными водами. Как правило, величина минерализации речных вод составляет 30-40 мг/л, что характерно для ультрапресных вод. По ионному составу поверхностные воды данной территории относятся к гидрокарбонатному классу, к группе кальция, ко 2 типу по соотношению главных анионов и катионов. Ионы кальция и магния формируют катионный состав вод. Абсолютное содержание катионов  $\text{Ca}^{2+}$  - 3-6 мг/л,  $\text{Mg}^{2+}$  - до 4 мг/л. Содержание ионов щелочных металлов ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) – 1,5-2,5 мг/л. Содержание органических веществ является повышенным. Для данной территории характерны значения: цветность – 20-60 градусов, перманганатная окисляемость – 8-22 мг/л, ХПК – 20-45 мг/л. Таким образом, может наблюдаться естественное «загрязнение» водотока по содержанию растворимых органических веществ [7].

#### **1.1.4 Ввод выборочных показателей многомерных временных рядов для оценки общего экологического состояния реки Охты.**

Ежегодно, с 2006 по 2015 годы, студентами РГГМУ собирались данные гидрохимических наблюдений о реке Охте. Данные были представлены в табличной форме. Таблицы содержали в себе год проведения забора проб воды, номера станций с указанием их координат и 22 показателя, входящих в гидрохимический анализ проб воды: время, температура воды, БПК, концентрация кислорода, рН водной среды, щелочность, концентрация

хлоридов, кальция, магния, железа, нитритов, фосфатов, жесткость воды, окисление перманганата и другие.

Чтобы провести общий анализ и описание экологического состояния реки Охты, были отобраны такие показатели гидрохимического анализа, как: БПК, концентрации кислорода, железа, нитритов и фосфатов. Этих показателей достаточно для проведения анализа и описания экологического состояния реки, и также, они будут использоваться для решения прикладной задачи данной выпускной квалификационной работы.

**Биохимическая потребность в кислороде (БПК)** - это мера количества органических веществ, которые могут быть разложены микроорганизмами в водной среде при потреблении кислорода. БПК измеряется в миллиграммах на литр и используется для оценки загрязненности воды. Воды с высокой БПК могут быть загрязнены органическими веществами, такими как неочищенные сточные воды, донные отложения и органические примеси. Чем выше уровень БПК, тем больше кислорода требуется для ее очистки и тем выше степень загрязнения воды.

Таблица 1.1 - БПК в водоёмах с различной степенью загрязнённости (по Крылову А.В.)

Степень загрязнения (классы водоёмов)	БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Очень чистые	0,5–1,0
Чистые	1,1–1,9
Умеренно загрязненные	2,0–2,9
Загрязненные	3,0–3,9
Грязные	4,0–10,0
Очень грязные	10,0

**Концентрация кислорода** в водоёме означает количество молекул кислорода, растворённых в воде на определенной глубине. Она характеризует доступность кислорода для живых организмов, проживающих в данном водоёме.

Концентрация кислорода в водоеме зависит от нескольких факторов:

- 1) Температуры воды: чем ниже температура воды, тем больше кислорода может раствориться в воде.
- 2) Количество растительности в водоеме: фитопланктон и другие растения производят кислород в процессе фотосинтеза, что может увеличить его концентрацию в воде.
- 3) Количество бактерий и других микроорганизмов: бактерии и другие микроорганизмы потребляют кислород в процессе дыхания и разложения органических веществ, что может снизить его концентрацию в воде.
- 4) Доступность света: кислородный режим в водоеме может ухудшаться из-за загрязнения водоема, препятствования доступа солнечных лучей к поверхности воды, а также из-за красных водорослей и других микроорганизмов, которые эффективно поглощают свет и не дают ему проникать на глубину.

Все эти факторы взаимосвязаны друг с другом и обуславливают концентрацию кислорода в водоеме.

Таблица 1.2 – Кислород в водоёмах с различной степенью загрязнённости

Уровень загрязненности воды и класс качества.	растворенный кислород		
	лето, мг/дм <sup>3</sup>	зима, мг/дм <sup>3</sup>	% насыщения
очень чистые, I	9	14-13	95
чистые, II	8	12-11	80
умеренно загрязненные, III	7-6	10-9	70
загрязненные, IV	5-4	5-4	60
грязные, V	3-2	5-1	30
очень грязные, VI	0	0	0

Недостаток кислорода в водоёме может привести к гибели водных живых организмов или к изменению биологических процессов, происходящих в водной экосистеме.

**Концентрация железа** в водоёмах может варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как геологическая структура почвы и грунта, рельеф местности, климатические условия и др.

В некоторых районах концентрация железа в воде может быть высокой, потому что почва и грунт могут содержать большое количество железа, которое в свою очередь проникает в воду через подземные источники. Значительное влияние на уровень железа также оказывают географические особенности и климатические условия.

ПДК (предельно допустимая концентрация) железа: 0,3 мг/литр. Это значение установлено ВОЗ (Всемирной Организацией Здравоохранения).

Высокая концентрация железа может отрицательно сказываться на качестве воды и её пригодности для использования в быту и производстве. Поэтому необходимо регулярно контролировать уровень железа в воде и принимать меры для его поддержания на безопасном уровне.

**Концентрация нитритов.** Нитриты - это химические соединения, содержащие азот и кислород, обозначаемые  $\text{NO}_2^-$ . Они широко используются в пищевой промышленности как консерванты, а также в производстве удобрений и животноводстве.

ПДК - 3,3 мг/дм<sup>3</sup> ( 3300 мкг/л) [2].

Концентрация нитритов в водоеме является важным показателем качества воды, поскольку высокие уровни нитритов могут указывать на загрязнение воды отходами и промышленными отходами, которые содержат высокие концентрации нитритов. Эти соединения также являются потенциально опасными для здоровья, поскольку могут вызвать метгемоглобинемию - редкое заболевание, которое приводит к недостаточному поступлению кислорода в ткани, а также вызывать раковые заболевания. Поэтому концентрация нитритов в водоеме должна быть строго контролируется для защиты здоровья человека и окружающей среды.

**Концентрация фосфатов.** Фосфаты - это соли ортофосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), содержащие в своей структуре фосфор и кислород. Они играют важную роль в биологических системах, так как являются необходимыми питательными элементами для роста и развития растений и водных организмов.

ПДК фосфатов: 3.5 мг/литр [2].

Концентрация фосфатов в водоеме характеризуется уровнем загрязнения воды. Повышенное содержание фосфатов может приводить к возникновению и развитию водной растительности, такой как водоросли и водные растения, что далее может привести к снижению качества воды и ухудшению экосистемы водоема.

Соединения минерального фосфора поступают в природные воды в результате выветривания и растворения пород, содержащих ортофосфаты (апатиты и фосфориты) и поступления с поверхности водосбора в виде орто-, ме-та-, пиро- и полифосфат-ионов (удобрения, синтетические моющие средства, добавки, предупреждающие образование накипи в котлах, и т. п.), а также образуются при биологической переработке остатков животных и растительных организмов. Избыточное содержание фосфатов в воде, особенно в грунтовой, может быть отражением присутствия в водном объекте примесей удобрений, компонентов хозяйственно-бытовых сточных вод, разлагающейся биомассы.

Признаки, отобранные из таблицы гидрохимического анализа, измерялись на протяжении 10 лет в период с 2006 по 2015 годы. Измерения были взяты на четырнадцати станциях. Для рассмотрения и решения задачи выпускной квалификационной работы, были отобраны 2 станции: первая и тринадцатая. Первая станция находится на расстоянии 0.5 км от устья по координатам: 59.94306 с.ш. 30.41038 в.д. Тринадцатая станция на расстоянии 8,95 км от устья по координатам: 59.96992 с.ш. 30.47912 в.д. В пакет прикладных программ MathCad также были введены данные для последующего их анализа. Были отдельно введены данные по всем выбранным признакам в виде векторов.

## **1.2 Понятие статистической гипотезы**

Статистическая гипотеза - это утверждение о параметрах распределения случайной величины или о связи между несколькими случайными величинами, которую нужно проверить с помощью статистических методов.

Она нужна для того, чтобы сделать выводы о генеральной совокупности на основании выборки. Статистическая гипотеза позволяет сравнить результаты эксперимента с ожидаемыми значениями и определить, есть ли статистически

значимая разница между ними. Это помогает уточнить результаты и сделать точные выводы о закономерностях и особенностях генеральной совокупности.

Статистическая гипотеза может быть как верна, так и неверна. Проверка гипотезы позволяет определить, насколько вероятно появление наблюдаемых результатов при условии, что гипотеза верна. В случае, если вероятность является очень малой, гипотеза может быть отклонена в пользу альтернативной гипотезы.

В данной выпускной квалификационной работе будут рассмотрены две гипотезы:

$H_0$ : выборки являются однородными

$H_1$ : выборки не являются однородными

### **1.3 Сравнительный анализ параметрического и непараметрического методов математической статистики**

Параметрический метод математической статистики использует предположение о распределении данных для проведения статистических тестов и оценки параметров. В то время как непараметрический метод не предполагает определенное распределение данных и использует статистические тесты, которые не требуют знания о параметрах распределения.

Преимущества параметрического метода:

Возможность более точно изучать статистические свойства и параметры распределения данных.

Большой выбор тестов для проведения статистического анализа.

Когда данные подчиняются определенному распределению, параметрический метод часто имеет большую мощность (способность обнаруживать различия), чем непараметрический метод.

Меньше неопределенности в выводах.

Преимущества непараметрического метода:

Универсальность: этот метод не требует предположения о распределении данных, что позволяет использовать его для любых типов данных и для небольших выборок.



Более надежный: при отсутствии информации о распределении данных непараметрический метод более надежный и безопасный, чем параметрический метод.

Использование ранговых тестов может привести к более чувствительным результатам.

Итак, параметрический метод предпочтителен, если известно, что данные распределены нормально или подчиняются другому известному распределению. В то время как непараметрический метод лучше всего подходит для сравнения групп данных, не имеющих заранее известных необходимых параметров распределения.

#### **1.4 Характеристика непараметрических методов проверки однородности и связи экологических наблюдений.**

Непараметрические методы проверки однородности и связи экологических наблюдений в районе морских объектов позволяют анализировать данные, не придерживаясь предположения о нормальности распределения или других предположениях о параметричности.

Они используются в случаях, если явления необходимые проанализировать, отличаются от нормального распределения. Нормальным является распределение по Гауссу. Их преимущество в том, что их применение эффективно при малых выборках.

Ещё несколько преимуществ непараметрических методов:

- Можно применять без знания закона распределения изучаемых совокупностей и вычисления основных параметров;

- Применимы к совокупностям порядкового характера;

- Решение задач с помощью непараметрических методов менее трудоёмко.

##### **1.4.1 Ранговый критерий Вилкоксона**

Ранговый критерий Вилкоксона является непараметрическим тестом, используемым для проверки равенства средних значений двух независимых выборок. Этот тест базируется на рангах, которые присваиваются значениям из

обоих выборок и позволяют учитывать только относительное значение их порядка.

Тест начинается с объединения двух выборок в одну рядом, затем значения ранжируются по возрастанию и присваиваются ранги. Далее рассчитывается сумма рангов каждой из выборок, после чего производится сравнительный анализ. Если сумма рангов одной выборки значительно больше, чем другой, то можно сделать вывод о значимой разнице в средних значениях выборок.

Критерий Вилкоксона может быть применен для малых выборок с размером от 5 до 20 наблюдений. Он также не требует предположений об нормальном распределении данных, что делает его полезным для анализа данных с нарушениями нормальности.

Критерий Вилкоксона относится к маломощным критериям. Под мощностью критерий принято понимать его способность выявлять различия между признаками, если они есть. Чем мощнее критерий, тем лучше он отвергает нулевую гипотезу и подтверждает альтернативную. Маломощные критерии обладают рядом достоинств: простота; широкий диапазон, по отношению к самым разным данным; применимость к неравным по объему выборкам; большая информативность результатов.

#### **1.4.2 Критерий Вилкоксона – Манна – Уитни**

Критерий Вилкоксона – Манна – Уитни (или просто критерий Манна-Уитни) – непараметрический статистический критерий, используемый для сравнения двух независимых выборок. Он основан на ранговом анализе данных и позволяет проверить гипотезу о равенстве средних значений двух выборок.

В отличие от критерия Стьюдента, который предполагает нормальность распределения, критерий Манна-Уитни не требует предположения о распределении выборки и может быть использован в случае, если данные не соответствуют нормальному закону распределения.

Принцип работы критерия состоит в следующем. Сначала объединяются значения выборок, затем каждому значению присваивается ранг. Затем

рассчитывается сумма рангов для каждой выборки (или одной из них), и на основе этих сумм рассчитывается статистика  $U$ , на которую опирается критерий.

Если значение статистики  $U$  оказывается меньше критического значения (определяется из таблиц статистических значений), то гипотеза о равенстве средних значений отвергается на заданном уровне значимости. Если же значение  $U$  больше или равно критическому значению, то гипотеза не отвергается и можно сделать вывод о том, что нет статистически значимых различий между выборками.

Требование для возможности применения критерия Вилкоксона – Манна – Уитни:

- 1) Каждая из двух выборок случайны
- 2) Каждая из двух выборок независимы. Члены выборок независимы между собой
- 3) Свойство, изучаемое для данного объекта, распределено непрерывно в каждой из двух совокупностей из которых сделаны выборки
- 4) Шкала измерений не должна быть ниже порядковой

Критерий Манна-Уитни широко используется в медицинских и биологических исследованиях, а также в других областях, где требуется сравнение двух выборок, не имеющих нормального распределения.

### **1.4.3 Критерий типа Колмогорова-Смирнова**

Критерий типа Колмогорова-Смирнова – это статистический тест, который используется для проверки гипотезы о соответствии двух распределений. Он основан на сравнении кумулятивных распределений эмпирических данных и теоретических распределений [12].

Применение критерия Колмогорова-Смирнова состоит из следующих шагов:

- 1) Формулируется нулевая гипотеза о том, что два распределения подчиняются одному закону распределения.
- 2) Выбирается уровень значимости  $\alpha$  (обычно 0,05).
- 3) Строятся кумулятивные распределения для каждого из распределений.

- 4) Вычисляются статистические показатели и сравниваются с критическим значением. Если статистические показатели больше критического значения, то нулевая гипотеза отвергается в пользу альтернативной гипотезы о том, что два распределения не подчиняются одному закону распределения.

Тест Колмогорова-Смирнова часто используется для проверки пригодности данных для анализа и для сравнения двух групп данных. Он может быть применен к данным с любым типом распределения, но наиболее эффективен, когда данные имеют нормальное распределение.

#### **1.4.4 Критерий Спирмена**

Критерий Спирмена - это статистический метод, который используется для оценки степени связи между двумя переменными. Он основан на ранговом анализе данных и позволяет определить, насколько сильно две переменные связаны друг с другом [12].

Критерий Спирмена можно применять для любых типов данных, включая непрерывные, дискретные и ранговые. Он основывается на оценке ранговых коэффициентов, которые отражают относительный ранг каждого значения в каждой из переменных.

Для проведения теста необходимо располагать двумя выборками данных. Если значения в обеих выборках упорядочены по возрастанию или убыванию, то тогда ранговый коэффициент корреляции Спирмена будет использоваться для оценки степени связи между ними.

Критерий Спирмена может быть полезен во многих областях, таких как биология, медицина и экономика, где требуется оценка связи между двумя переменными.

В целом, критерий Спирмена является одним из самых простых и распространенных тестов для оценки корреляции между переменными.

#### **1.4.5 Коэффициент корреляции Кенделла**

Коэффициент корреляции Кендэлла (Kendall's tau) - это мера, используемая для измерения степени связи между двумя ранжированными

переменными. Он может принимать значения от -1 до 1, где -1 означает полную обратную связь, 0 - отсутствие связи и 1 - полную прямую связь [12].

Коэффициент корреляции Кендэлла рассчитывается по формуле:

$$\tau = (2 * c) / (n * (n-1))$$

где:

$\tau$  - коэффициент корреляции Кендэлла

$c$  - число пар, в которых значение обеих переменных возрастает или убывает

$n$  - общее число пар значений

Например, если у нас есть две переменные А и В, каждая из которых имеет три значения: 1, 2 и 3, и мы расставляем их в порядке возрастания, то возможны следующие пары:

(1А, 1В), (1А, 2В), (1А, 3В), (2А, 1В), (2А, 2В), (2А, 3В), (3А, 1В), (3А, 2В), (3А, 3В).

Посчитаем, сколько пар имеют одинаковый порядок ранжирования: (1А, 1В), (2А, 2В), (3А, 3В), (1А, 2В), (1А, 3В), (2А, 3В) - всего 6 пар. Тогда коэффициент корреляции Кендэлла для этих двух переменных будет равен:

$$\tau = (2 * 6) / (9 * 8) = 0.333$$

Таким образом, степень связи между переменными А и В в данном случае является низкой.

### **Вывод по главе:**

Чтобы изучить сложные закономерности экологических процессов в водной среде, необходим объективный количественный анализ данных.

Выбор методов анализа данных зависит от условий задачи, и не всегда возможно использование параметрических методов, необходим непараметрический анализ.

Непараметрические методы находят свое применение при анализе концентрации вредных веществ в воде, количества донных отложений, изменения количества животных и количества бытовых отходов в среде их обитания.

В экологических исследованиях непараметрические методы анализа данных могут иметь преимущества перед параметрическими, особенно для небольших объемов выборок, при проверке статистических гипотез о загрязнении водных объектов.

Для статистического анализа данных о пробах воды реки Охты применяются непараметрические критерии для проверки однородности данных, и связи между различными признаками, такими как критерий Вилкоксона, Спирмена и Кендалла.

## **ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATHCAD И EXCEL**

### **2.1 Характеристика и особенности программного обеспечения MathCad.**

В последнее время для проведения различного рода расчетов на компьютере, все большее применение находят не традиционные языки программирования, а специальные математические пакеты, такие как например MathCad. MathCad – один из самых популярных, на сегодняшний день, пакетов, позволяющий специалистам в конкретной предметной области, не погружаясь в тонкости программирования, реализовывать математические модели, производить статистические, математические и вероятностные расчеты.

Несмотря на то, что эта программа, в основном, ориентирована на пользователей, не являющихся программистами, MathCad также используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования путём использования распределённых вычислений и традиционных языков программирования. Также MathCad часто используется в крупных инженерных проектах, где большое значение имеет соответствие стандартам.

#### **Преимущества пакета MathCad:**

В среде MathCad математические выражения записываются в общепринятом виде. Текстовый процессор пакета позволяет оформлять тексты, не прибегая к текстовым редакторам (таким как Microsoft Office Word).

Кроме того, MathCad – полноценное Windows-приложение, поэтому буфер обмена позволяет перенести фрагменты из документа MathCad в Word-документ и при необходимости продолжить работу уже в текстовом редакторе;

Процесс создания программы в среде MathCad происходит одновременно с отладкой;

В пакет MathCad внедрен мощный математический аппарат, который

позволяет производить решение математических задач без вызова внешних процедур. Перечень некоторых вычислительных инструментов, доступных в среде MathCad:

- Решение алгебраических уравнений и систем (линейных и нелинейных);
- Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений (задача Коши и Краева задача);
- Решение дифференциальных уравнений в частных производных;
- Работа с векторами и матрицами (линейная алгебра и др.);
- Поиск максимумов и минимумов функциональных зависимостей;
- Статистическая обработка данных

Также, пакет MathCad содержит в себе справочник по основным математическим и физико-химическим формулам и константам, которые можно автоматически переносить в документ;

Система MathCad содержит средства символьной математики, что позволяет решать математические задачи не только численно, но и аналитически;

Пакет MathCad оборудован средствами анимации, что позволяет реализовывать созданные модели не только в статичном виде (числа, таблицы), но и в динамике (анимационные представления);

Возможность создания средствами Mathcad высококачественных технических отчетов с таблицами, графиками и текстом; возможность интеграции Mathcad с множеством других программных систем (Excel, MatLab, Lotus, Power Point и др.);

Mathcad чрезвычайно прост в использовании и легок в обучении. Большинство действий, необходимых для управления программой, являются интуитивно понятными, и на освоение основных ее возможностей человеку, работавшему ранее в среде Windows, требуется два - три часа [17].

Из приведенных выше характеристик можно заключить, что пакет MathCad обладает огромными возможностями для решения разнообразных



задач [18].

Все эти особенности Mathcad не только облегчают процесс достижения конечного результата, осуществление более глубокого анализа проблем, но и позволяют использовать альтернативные пути решения тех же задач [19].

Mathcad был создан не для профессиональных математиков – для них существуют разнообразные системы, действующие в областях символьной математики, а скорее, как мощный микрокалькулятор для работы расчетчиков-инженеров, позволяющий справляться с рутинными задачами инженерной практики, ежедневно встречающимися в работе:

- Решение дифференциальных или алгебраических уравнений с постоянными или переменными параметрами;

- Численное и аналитическое дифференцирование и интегрирование; Анализ функций, поиск их экстремумов;

- Вывод таблиц и графиков при анализе найденных решений [20].

Проблема создания специализированного программного обеспечения резко упрощается с привлечением универсальных программных систем компьютерной математики (СКМ), поскольку при этом исключается необходимость разработки программ на языках высокого уровня. Применение СКМ в процессе проведения практических занятий позволяет уделять должное внимание многовариантному решению широкого спектра алгоритмически сложных задач по теории вероятностей и математической статистике [18].

Для статистического анализа существует большое множество программ. Тем не менее, в большей их части алгоритмы подсчета оказываются скрытыми. В некоторых случаях это бывает удобно, так как позволяет не отвлекаться от основной цели, но иной раз требуется и более тонкая настройка. В таких случаях, MathCad очень удобен, так как позволяет пользователю не только работать с уже известными алгоритмами статистического анализа, но и реализовывать свои собственные.

Возможности инструментальных средств MathCad для статистического анализа весьма многообразно:

Применение Mathcad для оценки постоянных величин и параметров математических моделей переменных величин, зависящих от одного или нескольких аргументов.

Построение математической модели по экспериментальным данным.

Решение задачи интерполяции. Использование метода наименьших квадратов для построения аппроксимирующей функции. Проверка адекватности модели.

Проведение дисперсионного и регрессионного анализа. Линейная регрессия — самый простой и наиболее часто используемый вид регрессии.

Использование метода наименьших квадратов для вычисления коэффициентов уравнения регрессии.

Полиномиальная регрессия. В Mathcad реализована регрессия одним полиномом, отрезками нескольких полиномов, а также двумерная регрессия массива данных.

Применение статистического комплекса для оценки качества изделий, характеризующихся совокупностью разнородных величин.

Планирование эксперимента. Использование системы Mathcad при планировании эксперимента. Оптимизация планов экспериментов. Полный факторный план и дробный факторный план эксперимента. Минимизации дисперсии определения коэффициентов уравнения регрессии: D — оптимальные планы.

## **2.2 Характеристика инструментальных средства EXCEL**

Microsoft Excel - программное обеспечение для работы с таблицами, которое обладает множеством инструментов для статистического анализа данных. Некоторые из наиболее важных инструментов представлены ниже:

Пакет Analysis ToolPak - набор инструментов статистического анализа для Excel, который позволяет проводить регрессионный анализ, анализ временных рядов, анализ дисперсии и др.

Графические инструменты - Excel содержит много графических инструментов для визуализации данных, такие как графики, диаграммы и

схемы. Они позволяют быстро анализировать и понимать данные.

Функции - Excel содержит множество статистических функций, например, функции распределения вероятности, функции для расчета стандартного отклонения и абсолютного значения.

Фильтр - инструмент для отбора и фильтрации данных по заданным критериям, что упрощает их анализ

Инструменты для сводных таблиц - это мощный инструмент для суммирования и анализа больших объемов данных.

Интерактивные диаграммы - Excel содержит инструменты для создания интерактивных диаграмм и показателей производительности.

Персональные макросы - Excel позволяет создавать персональные макросы, которые можно использовать для автоматизации статистического анализа и упрощения рутинных задач.

Общими чертами характеристики инструментальных средств для статистического анализа Excel являются простота использования, эффективность и универсальность в использовании с такими типами данных, как числовые, текстовые, логические и др.

### **2.3 Описательная статистика экологических показателей на реке Охте.**

В данном пункте представлены таблицы экологических показателей гидрохимического анализа реки Охты. По данным из таблиц будут созданы графики, показывающую тенденцию изменения показателей с течением времени.

В первой строке будут представлены годы, в которые проходило взятие проб воды на гидрохимический анализ: с 2006 по 2015 гг. В четырёх столбцах будут представлены значения экологических показателей:

- 1 столбец – станция №1 поверхность реки
- 2 столбец – станция №13 поверхность реки
- 3 столбец – станция №1 дно реки
- 4 столбец – станция №13 дно реки

**Описательная статистика биохимической потребности в кислороде  
(БПК):**

Таблица 2.1 – Значения БПК за 2006-2015 гг на 1 и 13 станциях

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 п.	3,46	5,84	5,11	4,72	3,48	5,50	3,12	1,91	3,142	10,93
1 дно	3,19	1,93	5,44	5,62	5,53	3,98	3,56	2,73	4,77	7,03
13 пов.	4,79	5,73	4,88	5,62	6,20	2,06	6,78	5,02	2,44	5,42
13 дно	5,01	5,38	4,14	7,02	4,90	5,77	5,54	5,26	2,76	6,25

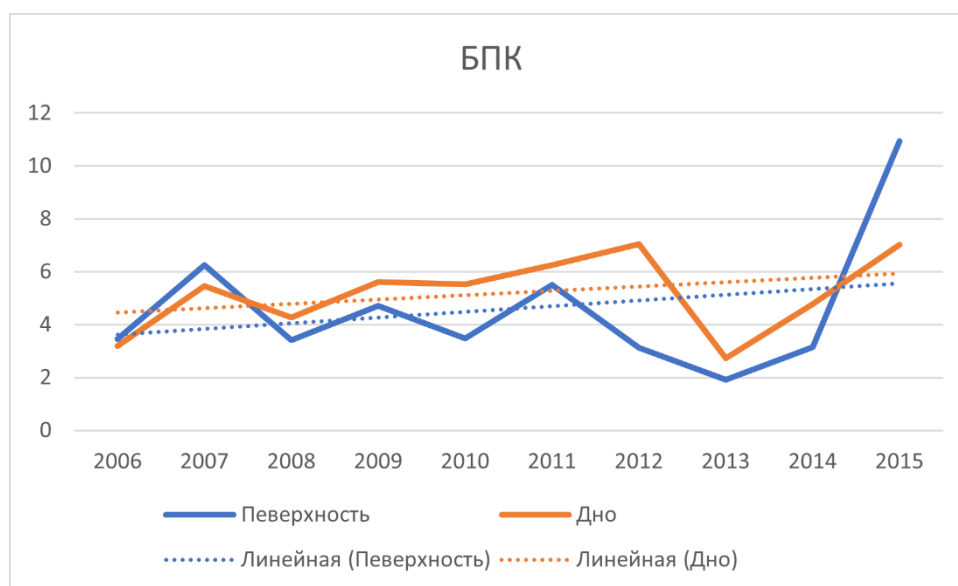


Рисунок 2.1 а – Тенденция изменения показателя БПК на станции №1



Рисунок 2.1 б – Тенденция изменения показателя БПК на станции №13

По графику первой станции (территориально – устье реки Охты) можно сделать вывод, что в среднем значения БПК варьируются от 3 до 6 мл/л. Опираясь на данные ПДК для БПК из таблицы пункта 1.1.4, утверждаем, что и на дне и на поверхности концентрация БПК 5 уровню загрязнённости – грязнённый водный объект.

Линия тренда имеет тенденцию к возрастанию, что говорит об ухудшении экологической обстановки данного показателя на реке Охте.

График 13 станции (начало Охтинского водохранилища) на рисунке б показывает схожую картину. Значения концентрации кислорода в среднем варьируются от 6 до 4 мл/л, что соответствует 5 уровню загрязнения согласно данным ПДК для БПК в водоёме из пункта 1.1.4.

Линия тренда с течением времени имеет тенденцию к убыванию, что говорит об улучшении экологической обстановки по данному показателю.

### **Описательная статистика концентрации кислорода:**

Таблица 2.2 - Значения концентрации кислорода за 2006-2015 гг на 1 и 13 станциях

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 пов.	1,13	3,00	0,54	1,36	2,21	0,88	4,03	2,35	4,36	5,17
1 дно	1,61	2,55	0,28	1,82	1,61	0,50	3,25	2,80	3,43	4,00
13 пов.	4,89	5,83	3,91	4,88	4,90	4,87	7,66	5,21	4,76	5,83
13	5,28	6,36	3,51	5,01	2,14	4,61	7,4	5,32	5,11	5,50



Рисунок 2.2 а – Тенденция изменения показателя концентрации кислорода на станции №1



Рисунок 2.2 б – Тенденция изменения показателя концентрации кислорода на станции №13

По графику первой станции (территориально – устье реки Охты) можно сделать вывод, что в среднем значения концентрации кислорода варьируются от 1 до 3 мл/л. Опираясь на данные из таблицы пункта 1.1.4, утверждаем, что и на дне и на поверхности концентрация кислорода соответствует 5 уровню загрязнённости – грязный водный объект.

Линии тренда имеют тенденцию к возрастанию, что говорит об улучшении экологической обстановки данного показателя на реке Охте. На дне концентрация кислорода незначительно ниже, о чем говорит положение линии тренда донных показателей.

График 13 станции (начало Охтинского водохранилища) на рисунке бпоказывает схожую с первой станцией ситуацию. Значения концентрации кислорода в среднем варьируются от 4 до 6 мл/л, что соответствует 4 уровню загрязнения согласно данным ПДК концентрации кислорода в водоёме из пункта 1.1.4.

Линии тренда имеют тенденцию к возрастанию, что говорит об улучшении экологической обстановки данного показателя на реке Охте. На дне концентрация кислорода незначительно ниже, о чем говорит положение

линии тренда донных показателей.

### Описательная статистика концентрации железа:

Таблица 2.3 - Значения концентрации железа за 2006-2015 гг. на 1 и 13 станциях

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 пов.	1,36	1,16	0,64	2,29	2,03	0,89	1,08	1,44	1,82	1,23
13 пов.	0,80	2,00	1,32	2,51	2,18	0,96	1,31	1,67	2,34	1,66
1 дно	1,28	1,16	0,76	2,37	1,96	0,47	1,34	1,45	1,53	1,05
13 дно	1,20	1,60	1,44	2,44	2,47	1,18	0,52	1,67	2,53	1,71



Рисунок 2.3 а – Тенденция изменения показателя концентрации железа на станции №1



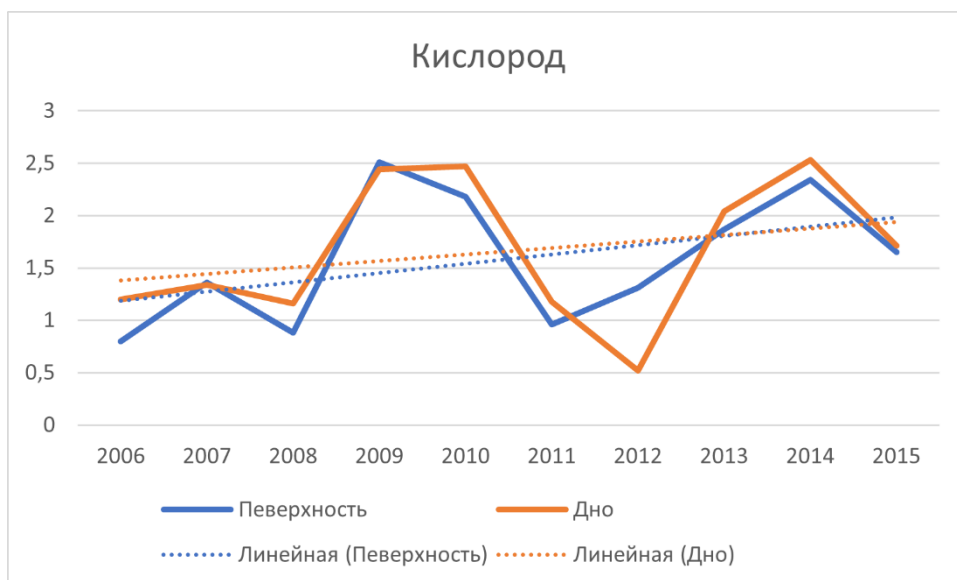


Рисунок 2.3 б – Тенденция изменения показателя концентрации железа на станции №13

По графику первой станции можно сделать вывод, что в среднем значения концентрации железа варьируются от 1.25 до 1.6 мг/л и на поверхности и на дне реки. Опираясь на данные пункта 1.1.4, утверждаем, что и на дне и на поверхности концентрация кислорода превышает ПДК почти в 5 раз. ПДК - 0.3 мг/л.

Линии тренда имеют тенденцию к убыванию, что говорит об улучшении экологической обстановки данного показателя на реке Охте.

График 13 станции на рисунке б показывает иную ситуацию. Значения концентрации железа в среднем варьируются от 1.25 до 2 мг/л, что превышает предельно допустимую концентрацию железа в водоёме примерно в 5 раз.

Линии тренда имеют тенденцию к возрастанию, что говорит об ухудшении экологической обстановки данного показателя и на поверхности и на дне реки Охты.

**Описательная статистика концентрации нитритов:**

Таблица 2.4 - Значения концентрации нитритов за 2006-2015 гг. на 1 и 13 станциях

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 пов.	59,1	95,1	4,4	55,10	69,10	198,00	63,3	45,3	59,38	72,08

13 пов.	47,1	78,1	68,1	69,10	105,10	102,00	53,1	67,9	135,1	80,62
1 дно	69,1	79,1	3,1	57,10	33,10	198,00	60,7	40,7	66,58	67,49
13 дно	43,1	99,1	38,1	70,10	103,10	126,00	53,1	58,1	137,1	80,86



Рисунок 2.4 а – Тенденция изменения показателя концентрации нитритов на станции №1

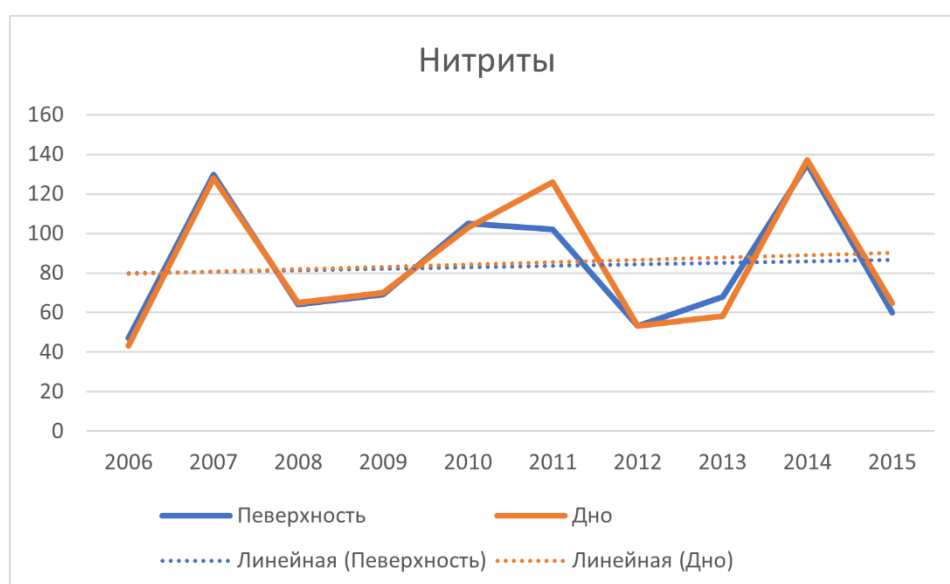


Рисунок 2.4 б – Тенденция изменения показателя концентрации нитритов на станции №13

По графику первой станции можно сделать вывод, что в среднем значения концентрации нитритов варьируются от 70 до 75 мкг/л и на

поверхности и на дне реки. Опираясь на данные пункта 1.1.4, а именно ПДК - 3,3 мг/дм<sup>3</sup> ( 3300 мкг/л), утверждаем, что и на дне и на поверхности концентрация нитритов находится в пределах нормы.

Линии тренда в среднем не меняет градус наклона, что говорит о стабильном допустимом состоянии данного показателя и на дне и на поверхности реки.

График 13 станции на рисунке б показывает схожую ситуацию. Значения концентрации нитритов в среднем варьируются от 80 до 90 мкг/л, что и на дне и на поверхности концентрация нитритов находится в пределах нормы.

Линии тренда имеют тенденцию к возрастанию, что говорит об постепенном движении в сторону ухудшения экологической обстановки данного показателя и на поверхности и на дне реки Охты.

#### **Описательная статистика концентрации фосфатов:**

Таблица 2.5 - Значения концентрации фосфатов за 2006-2015 гг. на 1 и 13

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 пов.	118,30	128	106,50	212,96	106,20	131,60	93,38	65,76	358,67	146,81
13 пов.	74,62	94,4	152,00	151,46	106,20	13,50	132,53	59,35	29,37	90,38
1 дно	161,98	126	99,40	205,28	95,60	125,96	97,59	57,75	102,8	119,15
13 дно	63,70	84,2	152,00	159,15	113,30	76,95	92,77	54,54	38,37	92,77



Рисунок 2.5 а – Тенденция изменения показателя концентрации фосфатов на станции №1



Рисунок 2.5 б – Тенденция изменения показателя концентрации фосфатов на станции №13

По графику первой станции можно сделать вывод, что значения концентрации фосфатов имеют разную тенденцию развития на поверхности и на дне реки Охты. Среднее значение на поверхности варьируется от 110 до 160 мкг/л. А на дне реки снижается от 160 до 50 мкг/л. Опираясь на данные о ПДК концентрации фосфатов – 3.5 мг/л утверждаем, что и на дне и на поверхности концентрация нитритов находится в пределах нормы.

Линии тренда значений поверхности реки имеет тенденцию к росту, что говорит о постепенном движении к значению ПДК. Линия тренда значения дна реки имеет тенденцию к убыванию, что говорит о постепенном снижении концентрации фосфатов.

График 13 станции на рисунке б показывает, что значения концентрации фосфатов в среднем варьируются от 60 до 120 мкг/л, что и на дне и на поверхности концентрация нитритов находится в пределах нормы.

Линии тренда имеют тенденцию к убыванию, что говорит об постепенном движении в сторону снижения концентрации фосфатов.

#### **Вывод по главе:**

В данной главе были рассмотрены основные преимущества использования пакетов прикладного программного обеспечения MathCad и EXCEL для решения задачи выпускной квалификационной работы.

Также был проведён анализ описательной статистики экологических показателей в районе реки Охты по 5 показателям: БПК, концентрации кислорода, железа, нитритов и фосфатов.

# ГЛАВА 3. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ И СВЯЗИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕКИ ОХТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДЫ МАТНСАД И EXCEL.

## 3.1 Исходные данные.

В пункте 1.1.4 были введены 5 показателей (из 22 возможных) многомерных временных рядов гидрохимического анализа проб воды на реке Охте с 2006 по 2015 годы.

Показатели:

- 1) БПК (Биохимическое потребление кислорода)
- 2) Концентрации кислорода
- 3) Концентрация железа
- 4) Концентрация нитритов
- 5) Концентрация фосфатов

Для решения задач данной выпускной квалификационной работы, из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте были отобраны выборки за 2007 и 2014 годы с первой по тринадцатые станции (на поверхности и на дне реки).

Таблица 3.1 — исходные данные БПК (мл/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на поверхности водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	6,24	1,01	4,32	3,60	5,11	4,07	5,94	4,51	3,45	4,91	5,28	5,36	6,30
2014	3,142	3,998	3,841	5,155	5,2	5,81	5,67	3,67	5,64	5,97	5,2	3,98	2,44

Таблица — исходные данные БПК (мл/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на дне водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	5,45	2,07	3,11	4,56	3,34	3,17	4,10	4,77	3,01	5,73	5,02	6,25	5,87
2014	3,142	3,084	3,556	4,684	3,83	4,58	5,97	5,57	5,51	5,65	5,23	3,96	2,76

Таблица

3.2 — исходные данные концентрации кислорода (мл/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на поверхности водоёма (1-13 станции) Поверхность

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	2,80	2,97	2,81	1,82	2,30	2,60	3,19	3,16	4,40	5,20	6,20	5,90	5,80
2014	4,36	4,54	3,78	4,54	5,21	4,94	5,37	5,48	5,36	5,38	6,57	6,03	4,76

Таблица 3.3

— исходные данные концентрации кислорода (мл/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на дне водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	2,37	1,93	0,81	1,06	1,74	1,91	2,11	2,17	4,20	5,40	5,00	6,09	6,11
2014	3,43	6,03	3,24	3,48	4,83	5,38	5,85	7,91	5,68	5,4	5,34	5,68	5,11

Таблица 3.4 — исходные данные концентрации железа (мг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на поверхности водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

2007	1,32	1,88	1,74	2,80	3,20	3,08	1,28	0,72	0,28	1,30	1,36	1,24	1,28
2014	1,82	1,15	1,86	1,86	2,53	2,34	2,47	2,08	1,69	2,47	1,89	2,54	2,34

Таблица 3.5 — исходные данные концентрации железа (мг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на дне водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	1,08	1,60	1,68	3,76	2,72	2,36	1,38	1,16	1,22	1,26	1,34	1,20	1,34
2014	1,53	1,86	1,86	2,53	2,34	2,47	2,08	1,69	2,47	1,89	2,54	2,34	2,02

Таблица 3.6 — исходные данные концентрация нитритов (мкг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на поверхности водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	98,1	123	157	157	159	162	144	161	122	140	132	139	130
2014	59,38	37,76	73,79	78,59	139,1	131,1	137,1	137,1	125,1	123,1	117,1	127,1	135,1

Таблица 3.7 — исходные данные концентрация нитритов (мкг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на дне водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	94,1	105,1	133,1	162,1	167,1	159,1	164,1	154,1	154,1	139,1	126,6	136,6	136,6
2014	66,58	40,17	70,19	80,99	139,1	139,1	133,1	133,1	125,1	115,1	111,1	127,1	137,1



Таблица 3.8 — исходные данные концентрация фосфатов (мкг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на поверхности водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	128	187	223	194	176	135	172	65,9	78,9	88,9	84,2	91,9	84,6
2014	358,67	65,41	122,82	100,57	97,9	94,55	84,55	84,55	38,27	4,89	0	38,27	29,37

Таблица 3.9 — исходные данные концентрация фосфатов (мкг/л) из таблицы гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы на дне водоёма (1-13 станции)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2007	126	165	234	205	168	143	65,9	62,2	80,5	87,8	87,8	93,3	87,8
2014	102,8	62,74	131,72	118,37	93,45	80,1	84,55	84,55	38,27	2,67	2,67	33,82	38,37

### 3.2 Проверка гипотезы об однородности двух выборок по критерию Вилкоксона

С помощью статистического критерия Вилкоксона, была произведена проверка однородности двух выборок гидрохимического анализа проб воды на реке Охте за 2007 и 2014 годы по 13 станциям.

Если выборки однородны, то считают, что они извлечены из одной и той же генеральной совокупности и, следовательно, имеют одинаковые, причем неизвестные, непрерывные функции распределения

Вводим распределение типичных и нетипичных сдвигов: сдвиг в отрицательную сторону – типичный, сдвиг в положительную сторону – нетипичный.

Сдвиг в отрицательную стороны – отрицательное значение разности значений 2014 и 2007 годов. Сдвиг в положительную сторону – положительное значение разности значений 2014 и 2007 годов.

После нахождения разностей значений за 2014 и 2007 годы, выписываем получившиеся ответы по модулю – не учитывая знак. Получившиеся по модулю значения ранжируются в порядке возрастания (от меньшего к большему).

Далее находим сумму рангов типичных сдвигов, те, что при разности значений выборок 2014 и 2007 годов дали отрицательное значение. Таким образом мы получим значение Т-эмпирическое.

Гипотеза Н<sub>0</sub>: выборки являются однородными

Гипотеза Н<sub>1</sub>: выборки не являются однородными

Уровень значимости (ошибка первого рода)  $\alpha=0,05$

По таблице критических значений критерий Вилкоксона, Т-критическое = 21, при n=13

Таблица 3.10 – результаты расчета Т-критерия Вилкоксона по пяти показателям за 2007 и 2014 годы

	БПК	Железо	Кислород	Нитриты	Фосфаты
Поверхность	45	6	22	88	90
Дно	35	2	16	90	88

Критерий Вилкоксона – левосторонний. То есть при нанесении критического и эмпирического значения на числовую прямую, значения, находящиеся слева Т-критического, будут указывать на принятия гипотезы Н<sub>1</sub>. Значения, находящиеся справа (область допустимых значений) Т-критического, будут указывать на принятие гипотезы Н<sub>0</sub>, т.е. подтвердят гипотезу об однородности двух выборок.

В процессе расчёта критерия Вилкоксона были получены значения Т-эмпирического для каждой выборки по пяти показателям гидрохимического

анализа на поверхности и на дне реки Охты. Результаты расчетов представлены в таблице.

Исходя из условия уровня значимости ( $T$ -критическое=21), можно сделать следующие выводы:

- выборки ПБК являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза  $H_0$  принимается в обоих случаях);

- выборки концентрации железа на поверхности и дне реки не являются однородными(в обоих случаях принимается гипотеза  $H_1$ );

- выборки концентрации кислорода на поверхности реки являются однородными (принимается гипотеза  $H_0$ ), но не являются однородными на дне реки (принимается гипотеза  $H_1$ );

- выборки концентрации нитритов являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза  $H_0$  принимается в обоих случаях);

- выборки концентрации фосфатов являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза  $H_0$  принимается в обоих случаях);

### **3.3 Проверка гипотезы об однородности двух выборок по критерию Вилкоксона – Манна – Уитни**

С помощью статистического критерия Вилкоксона – Манна – Уитни, была произведена проверка однородности двух выборок гидрохимического анализа проб воды на поверхности реки Охты за 2007 и 2014 годы по 13 станциям.

В исходных данных мы имеем два столбца значений – выборка за 2007 год и выборка за 2014 год. Ранжируем значения обоих столбцов данных совместно, не обращая внимание на год.

После ранжирования отдельно складываем суммы рангов за 2007 и 2014 годы. Получаем два значения.

Далее вычисляем по формуле критерий Вилкоксона – Манна – Уитни:

$$U_{эмп} = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_{\max} \cdot (n_{\max} + 1)}{2} - T_{\max}$$

Рис 3.1 - Формула расчёта критерия Вилкоксона – Манна – Уитни

$n_1$  – количество станций в первой выборке

$n_2$  – количество станций во второй выборке

$n_{\max}$  – количество станций в выборке с наибольшей суммой рангов

$T_{\max}$  – большая из двух сумм рангов

Гипотеза  $H_0$ : выборки являются однородными

Гипотеза  $H_1$ : выборки не являются однородными

Уровень значимости (ошибка первого рода)  $\alpha=0,05$

По таблице критических значений критерий Вилкоксона – Манна – Уитни,

$U$ -критическое = 51, при  $n_1=13$  и  $n_2=13$

$U_{эмп} = 91$

Таблица 3.11 – результаты расчета  $U$ -критерия Вилкоксона – Манна – Уитни по пяти показателям за 2007 и 2014 годы

	БПК	Железо	Кислород	Нитриты	Фосфаты
Поверхность	91	52,5	42,5	35,5	56,5
Дно	83.5	37,5	38,5	35,5	41,5

Критерий Вилкоксона – Манна – Уитни – левосторонний. То есть, при нанесении критического и эмпирического значения на числовую прямую, значения, находящиеся слева  $U$ -критического, будут указывать на принятия гипотезы  $H_1$ . Значения, находящиеся справа (область допустимых значений)  $U$ -критического, будут указывать на принятие гипотезы  $H_0$ , т.е. подтвердят гипотезу об однородности двух выборок.

В процессе расчёта критерия Вилкоксона – Манна – Уитни были получены значения  $U$ -эмпирического для каждой выборки по пяти показателям

гидрохимического анализа на поверхности и на дне реки Охты. Результаты расчетов представлены в таблице.

Исходя из условия уровня значимости ( $U$ -критическое = 51), можно сделать следующие выводы:

- выборки ПБК являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза  $H_0$  принимается в обоих случаях);

- выборки концентрации кислорода на поверхности и на дне реки не являются однородными (в обоих случаях принимается гипотеза  $H_1$ );

- выборки концентрации железа на поверхности реки являются однородными (принимается гипотеза  $H_0$ ), но не являются однородными на дне реки (принимается гипотеза  $H_1$ );

- выборки концентрации нитритов на поверхности и на дне реки не являются однородными (в обоих случаях принимается гипотеза  $H_1$ );

- выборки концентрации фосфатов на поверхности реки являются однородными (принимается гипотеза  $H_0$ ), но не являются однородными на дне реки (принимается гипотеза  $H_1$ ).

### **3.4 Оценка тесноты связи двух выборок по критерию Спирмена**

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена (Spearman's rank correlation coefficient) - это статистическая мера, используемая для измерения силы связи между рангами переменных. Он обозначается символом " $\rho$ " и может иметь значение от -1 до +1. Значение +1 означает идеальную положительную корреляцию, 0 - отсутствие корреляции, а -1 - идеальную отрицательную корреляцию. Коэффициент Спирмена часто используется в исследованиях, где данные не имеют нормального распределения или не удовлетворяют другим стандартным предположениям о данных.

Алгоритм решения:

- 1) Упорядочить данные для каждой переменной по возрастанию.
- 2) Присвоить каждому значению в каждой переменной ранг (место в упорядоченном списке). Если есть одинаковые значения, присвоить среди них средний ранг.

- 3) Вычислить разницу между рангами для каждой пары значений для обеих переменных.
- 4) Возвести в квадрат каждый результат из шага 3 и сложить их.
- 5) Вычислить сумму рангов для каждой переменной.
- 6) Используя формулу, вычислить коэффициент ранговой корреляции Спирмена:  $r = 1 - (6 * SS_{\Sigma}) / (n * (n^2 - 1))$  где  $SS_{\Sigma}$  - сумма квадратов разницы рангов из шага 4,  $n$  - количество значений в каждой переменной.
- 7) Чем ближе коэффициент ранговой корреляции Спирмена к 1 или -1, тем сильнее связь между переменными. Если коэффициент близок к 0, то связь между переменными отсутствует.
- 8) В данном примере оценки тесноты связи двух выборок по критерию спирмена в качестве выборок будут взяты значения БПК и Железа с 2006 по 2015гг. Первая выборка БПК, вторая – железо.

**На поверхности:**

Ниже в таблице будут представлены значения БПК и железа на поверхности реки первой станции с последующим их ранжированием.

Таблица 3.12 – Значения и ранги выборок БПК и Железа

БПК (X)	Железо (Y)	ранг БПК	ранг Железа
3.46	1.36	5	7
6.24	1.32	9	6
3.41	0.76	4	1
4.72	2.29	7	10
3.48	2.21	6	9
5.5	2.03	8	8
3.12	0.89	2	2

1.91	1.08	1	3
3.142	1.17	3	4
10.93	1.23	10	5

Таблица 3.13 – Матрица рангов по выборкам БПК и Железа

ранг X, $d_x$	ранг Y, $d_y$	$(d_x - d_y)^2$
5	7	4
9	6	9
4	1	9
7	10	9
6	9	9
8	8	0
2	2	0
1	3	4
3	4	1
10	5	25
55	55	70

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен: 0.58

При  $n=10$ , критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена для ошибки первого рода 0.05, равно: 0.564

Гипотеза  $H_0$ : коэффициент не отличен от нуля – связи нет

Гипотеза  $H_1$ : коэффициент отличен от нуля – связь есть

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена двусторонний, следовательно:

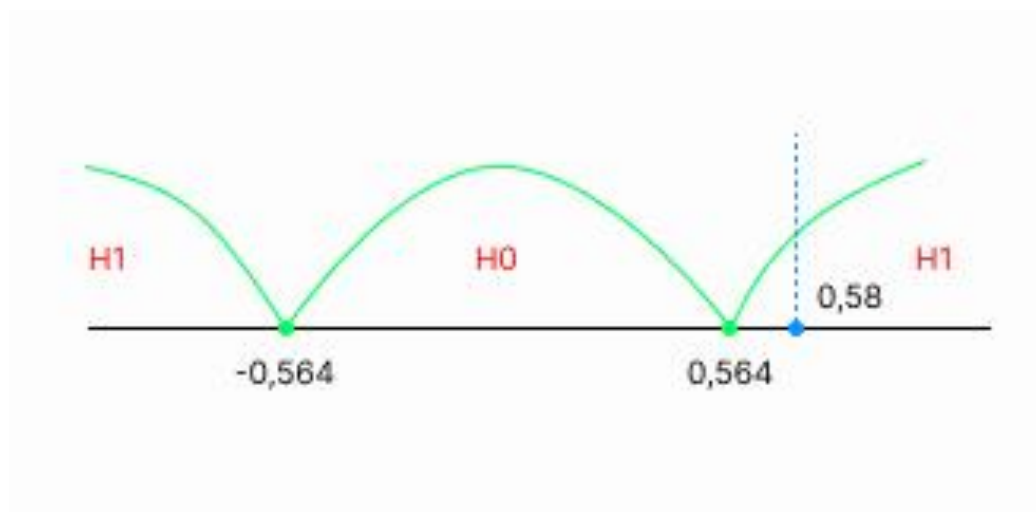


Рисунок 3.2 – Числовая прямая для проверки гипотезы связи

Опираясь на данные числовой прямой на рисунке, видим, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена находится в области значений гипотезы  $H_1$ , следовательно гипотеза  $H_1$  принимается - коэффициент не равен нулю – связь есть.

Тесноту связи оцениваем следующим образом: 0,3 и менее – показатель слабой тесноты связи; значения более 0,4, но менее 0,7 – показателями умеренной тесноты связи, а значения 0,7 и более - показателями высокой тесноты связи.

Вывод: связь между выборками БПК и Железа на первой станции за 2006 – 2015 гг. умеренная, т.к. коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.58

#### На дне:

Ниже в таблице будут представлены значения БПК и железа на дне реки первой станции с последующим их ранжированием.

Таблица 3.14 – Значения и ранги выборок БПК и Железа на дне рки

БПК (X)	Железо (Y)	Ранг БПК	Ранг Железа
3.19	1.28	2	5



5.45	1.08	5	4
4.28	0.8	3	2
5.62	2.37	7	10
5.53	1.61	6	8
6.24	1.96	8	9
7.04	0.47	10	1
2.73	1.34	1	7
4.77	1.31	4	6
7.03	1.05	9	3

Таблица 3.15 – Матрица рангов по выборкам БПК и Железа на дне реки

ранг X, $d_x$	ранг Y, $d_y$	$(d_x - d_y)^2$
2	5	9
5	4	1
3	2	1
7	10	9
6	8	4
8	9	1
10	1	81
1	7	36
4	6	4
9	3	36

55	55	182
----	----	-----

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен: 0.1

При  $n=10$ , критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена для ошибки первого рода 0.05, равно: 0.564

Гипотеза  $H_0$ : коэффициент не отличен от нуля – связи нет

Гипотеза  $H_1$ : коэффициент отличен от нуля – связь есть

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена двусторонний, следовательно:

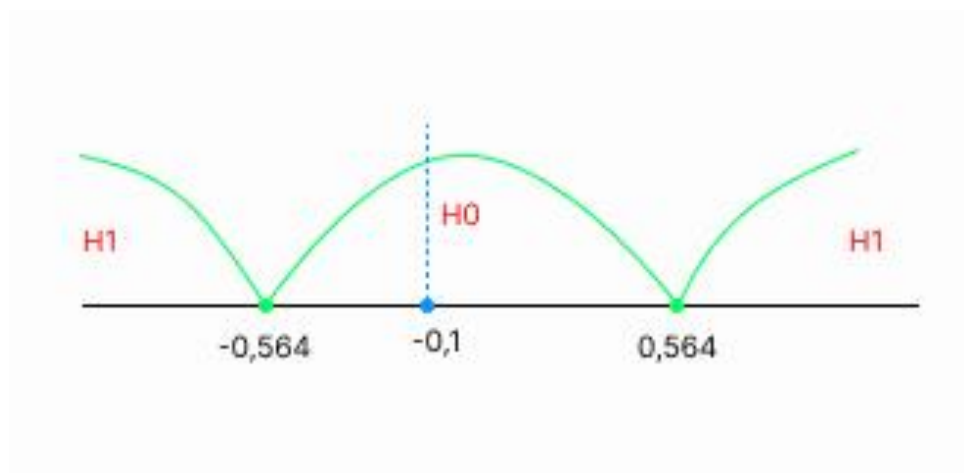


Рисунок 3.3 – Числовая прямая для проверки гипотезы связи

Опираясь на данные числовой прямой на рисунке, видим, что коэффициент ранговой корреляции Спирмена находится в области значений гипотезы  $H_0$ , следовательно гипотеза  $H_0$  принимается – связи нет.

Вывод: связь между выборками БПК и Железа на дне первой станции за 2006 – 2015 гг. отсутствует.

### 3.5 Технико-экономическое обоснование

Технико-экономическое обоснование использования методики непараметрического анализа статистической однородности и связи экологических показателей в районе реки Охта включает в себя оценку

эффективности и экономической выгоды применения данной методики по сравнению с другими аналитическими подходами.

Основными преимуществами непараметрического анализа являются:

- 1) Не требует нормального распределения и равенства дисперсий выборок, что позволяет анализировать данные, не отвлекаясь на априорные предположения о распределении.
- 2) Не требует определения параметров распределения, таких как среднее значение и стандартное отклонение, что уменьшает чувствительность к выбросам и улучшает точность оценки.
- 3) Позволяет учитывать связь между переменными, обрабатывая попарную корреляцию между ними.
- 4) Дает возможность оценивать статистическую значимость различий и связей между переменными на основе ранговых статистик.

**Простота интерпретации полученных результатов.** В связи с этим, использование непараметрического анализа может привести к более точным и достоверным выводам о статистической однородности и связи экологических показателей в районе морских объектов, что позволит принимать обоснованные решения в области экологии и природопользования.

С точки зрения экономической выгоды, применение непараметрического анализа может снизить затраты на организацию и проведение исследований, так как не требует большого количества данных о распределении и свойствах переменных. Более того, использование данной методики позволяет избежать затрат на экспертную оценку и предварительную обработку данных.

Стоимость использования методики непараметрического анализа статистической однородности и связи экологических показателей в районе морских объектов может быть разной в зависимости от конкретных условий и требований заказчика. Ориентировочно, стоимость такой работы может составить от 50 000 до 200 000 рублей в зависимости от объема и сложности анализа данных, использованных методов и количества экологических показателей, а также опыта и квалификации исполнителя.

Затраты денежных средств, необходимые для использования методики непараметрического анализа статистической однородности и связи экологических показателей в районе реки Охта:

Сбор и обработка данных:

1) Необходимо собрать информацию о экологических показателях в районе реки Охта

2) Провести их обработку для последующего анализа

3) Наем специалиста в сфере математической статистики

Непараметрический анализ:

1) Использование специализированного платного программного обеспечения Mathcad и EXCEL

2) Приобретение научной литературы

3) Интерпретация результатов: результаты непараметрического анализа требуют общей оценки и интерпретации. Для этого необходимо нанять научного специалиста.

Экономичность применения методики непараметрического анализа статистической однородности и связи экологических показателей в районе морских объектов, обусловлена возможностью своевременного вмешательства и принятия необходимых мер по улучшению экологической обстановки показателя, отклонившегося от нормы, или экологического состояния водного объекта в целом. Это позволит избежать нежелательных экологических проблем или катастроф техногенного характера, что в свою очередь может помочь сэкономить средства федерального бюджета на решение глобальных проблем за счёт своевременного вмешательства благодаря данной методике.

#### **Вывод по главе:**

В данной главе были введены данные по 5 показателям (БПК, концентрации кислорода, железа, нитритов и фосфатов) из таблицы гидрохимического анализа проб воды реки Охты.

Для каждого показателя были взяты две выборки для последующей проверки гипотезы об их однородности с помощью Т-критерия Вилкоксона.

Были получены следующие результаты:

- выборки ПБК являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза Н0 принимается в обоих случаях);

- выборки концентрации железа на поверхности и дне реки не являются однородными(в обоих случаях принимается гипотеза Н1);

- выборки концентрации кислорода на поверхности реки являются однородными (принимается гипотеза Н0), но не являются однородными на дне реки (принимается гипотеза Н1);

- выборки концентрации нитритов являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза Н0 принимается в обоих случаях);

- выборки концентрации фосфатов являются однородными и на дне и на поверхности реки (гипотеза Н0 принимается в обоих случаях);

Далее была проведена оценка тесноты связи двух выборок по критерию Спирмена. В качестве выборок были взяты значения БПК и железа на поверхности реки первой станции с последующим их ранжированием и значения БПК и железа на дне реки первой станции.

Были получены следующие результаты:

- 1) Связь между выборками БПК и Железа на первой станции за 2006 – 2015 гг. умеренная, т.к. коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0.58. Это говорит о том, что значения БПК на поверхности реки влияют на то, какими будут значения концентрации железа.
- 2) Связь между выборками БПК и Железа на дне первой станции за 2006 – 2015 гг. отсутствует. Это говорит о том, что значения БПК на поверхности реки не имеют связи и не влияют на то, какими будут значения концентрации железа.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной выпускной квалификационной работе была поставлена цель разработки методики непараметрического анализа статистической связи и однородности экологических показателей реки Охты.

В процессе исследования были получены основные результаты, включающие анализ параметрических и непараметрических методов.

Изучение сложных закономерностей экологических процессов в водной среде требует объективного количественного анализа, при котором выбор методов зависит от условий задачи. Непараметрические методы являются актуальными при анализе концентрации вредных веществ, изменении количества донных отложений, а также при выявлении связи между сокращением численности животных и количеством бытовых отходов.

В экологических исследованиях непараметрические методы анализа данных о загрязнении морей имеют преимущества перед параметрическими в силу их разнообразия, простоты расчетов и возможности применения для небольших объемов выборок.

В данной работе методы параметрической и непараметрической статистики были применены для анализа данных о пробах воды реки Охта, с целью проверки их однородности признаков и установления связи между ними.

Для исследования реки Охты как объекта экологических исследований потребуется методика, которая позволит статистический анализ имеющихся данных о пробах воды. Важно проверить однородность данных, установить статистическую значимость признаков и связь между различными признаками. Для этой цели были применены непараметрические методы анализа данных, такие как критерий Вилкоксона для проверки гипотезы однородности и критерий Спирмена для проверки гипотезы связи между выборками и оценки их тесноты.

Экологические исследования не всегда позволяют использовать параметрические методы, поэтому непараметрические методы могут быть более актуальны при анализе концентрации вредных веществ в воде, изменении

количества донных отложений или связи между сокращением численности животных и количеством бытовых отходов в среде их обитания. В данном случае, для более детальной оценки состояния реки Охты, предлагается использовать непараметрические критерии на платформах MathCad и EXCEL, так как это облегчит выполнение большого количества расчетов и получение наглядных результатов.

Ухудшение состояния реки Охты хорошо видно по тенденциям концентраций загрязняющих веществ в воде, особенно железа, т.к. оно превышает ПДК в 5 раз.

Из результатов, полученных в ходе данной работы, можно сделать вывод, что имеющиеся значения являются однородными. Наиболее однородными являются признаки: концентрация кислорода, концентрация железа и БПК. Однородность - ключевой фактор для достижения наиболее точных результатов при статистическом анализе. Для оценки однородности используются параметрические и непараметрические методы, но анализ непараметрическими критериями позволяет получить наиболее точные оценки. Программы MathCad и EXCEL являются удобными инструментами для проведения исследований однородности без необходимости затрачивать много времени.

Предлагаемый общий план методики непараметрического анализа статистической связи геоэкологических явлений включает следующие шаги:

Проверка однородности данных по всем станциям и за два года с помощью t-критерия Вилкоксона

Оценка связи между признаками с помощью коэффициентов ранговой корреляции Спирмена

Эта методика учитывает вероятность ошибок и использует непараметрические методы для оценки однородности данных и связи между признаками, что делает ее более точной и удобной для использования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Алексеев Д. К. Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы: учебное пособие / Д. К. Алексеев, В. В. Гальцова, В. В. Дмитриев; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Российский гос. гидрометеорологический ун-т. - Санкт-Петербург : РГГМУ, 2011. -302с.
2. Станскова А.Г. Оценка экологического состояния р. Охта в Санкт-Петербурге и Ленинградской области / А.Г. Станскова; - Санкт- Петербург: РГГМУ, 2016. -73с.
3. Куличенко А.Ю. Оценка состояния Р. Охта (г. Санкт-Петербург) на основе биотических методов / А.Ю. Куличенко // ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров: Вятский государственный университет. -2017. - С. 110- 107.
4. Зуева Н.В. Использование макрофитов в оценке экологического состояния малой реки (на примере реки Охты, Санкт-Петербург)/ Н.В.Зуева, А.А.Бобров// Биология внутренних вод. – 2018. - №1. - С.45-54.
5. Охта. Энциклопедия Санкт-Петербурга // Электронная энциклопедия и словарь [Электронный ресурс] URL: [http://encdic.com/enc\\_spb/Ohta-971.html](http://encdic.com/enc_spb/Ohta-971.html). (дата обращения 25.05.2023)
6. Охта //Wikipedia [Электронный ресурс] URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Охта\\_\(Приток\\_Невы\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Охта_(Приток_Невы)) (дата обращения: 29.04.2023).
7. Урусова Е.С. Оценка загрязненности реки Охта в пределах Санкт-Петербурга на основе применения интегральных кривых / Е.С. Урусова // ОБЩЕСТВО. СРЕДА. РАЗВИТИЕ. – 2015. - №4 (37).- С.171-175.
8. Орлов А.И. Нечисловая статистика / А.И. Орлов; – М.: МЗ- Пресс, 2004. – 513 с.
9. Шелутко В.А. Методы обработки и анализа гидрологической



информации. Учебно-методическое пособие / В.А. Шелутко; — Санкт-Петербург: Издательство СПбГУ, 2007. — 192 с.

10. Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Нева. В 6-х книгах/ Книга 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. // ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ Невско-Ладожское Бассейновое Водное Управление [Электронный ресурс] URL: <http://www.nord-west-water.ru> (дата обращения: 01.05.2023).

11. Грабарь М.И. Применение математической статистики в педагогических исследованиях. Непараметрические методы / М.И. Грабарь, К.А. Краснянская; - М.:Педагогика, 1977 - 136с

12. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников/ А.И Кобзарь; – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 816 с.

13. [Статистика в обработке материалов психологических исследований // allbest \[Электронный ресурс\] URL: https://knowledge.allbest.ru/psychology/3c0b65625a3ad68a5c53b88421306d27\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/psychology/3c0b65625a3ad68a5c53b88421306d27_0.html) (дата обращения: 19.04.2023).

14. Кузнецов В.М. Основы научных исследований в животноводстве // В.М. Кузнецов; – Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. – 202 с.

15. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика // В.Е. Гмурман; – М: Высшая школа, 2002. –343 с.

16. Наследов, А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных / А. Д. Наследов; – СПб.: Речь, 2004. – 392 с.

17. Панферов А.И. Применение Mathcad в инженерных расчетах. Учебное пособие/ А.И.Панферов, А.В.Лопарев, В.К.Пономарев; - СПб: СПбГУАП, 2014. -83с.

18. Радченко Т.А. Статистический анализ данных в пакете Mathcad: Учебное пособие/ Т.А. Радченко, А.В. Дылевский ; - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2004. - 23 с.
19. Ивановский Р. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad / Р.И. Ивановский; — СПб.: БХВ- Петербург, 2008. — 528 с.
20. Макаров Е.Г. Mathcad Учебный курс / Е.Г. Макаров; - СПб: Питер, 2009. -381с.
21. Конык О.А. Контроль качества воды, атмосферного воздуха и почвы. Учебное пособие / О.А.Конык, Т.В.Шахова; - СЫКТЫВКАР: СЛИ, 2013.- 145с.
22. Зенин А.А. Гидрохимический словарь / А.А. Зенин, Н.В. Белоусова; - Л.: Гидрометеиздат,1988. - 240с.
23. Елисеева И.И. Е51 Общая теория статистики: Учебник/ И.И. Елисеева, М.М Юзбашев / Под ред. чл.-корр. РАН И.И. Елисеевой. - М.: Финансы и статистика, 2001.- 480 с.
24. URL: <http://away.vk.com/away.php> (дата обращения: 19.05.2023)
25. Кривда А.А. Экологические проблемы мирового океана. Реферат / А.А. Кривда; – Киев, 2000. – с.3.
26. Коэффициент ранговой корреляции Кендалла // Stapsy [ Электронный ресурс ] URL: <http://statpsy.ru/kendall/correlation-kendall/> (дата обращения: 21.05.2023)
27. Временные ряды // studfiles [Электронный ресурс] URL: <https://studfiles.net/preview/2558995/> (дата обращения: 30.04.2023)
28. Гольцова В.В. «ОЦЕНКА экологического состояния водотоков Санкт-Петербурга на основе гидрохимических и гидробиологических методов» / В.В. Гольцова, Л.В. Кулангиева, Н.Ю. Ваганова // ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН Материалы конференции;

- СПб.: РГГМУ, 2004. - С. 122.

29. Достоинства маломощных критериев [Электронный ресурс] URL: <https://megalektsii.ru/s35704t7.html> (дата обращения 15.05.2023)

30. Назовите преимущества и недостатки коэффициента корреляции Спирмена по сравнению с коэффициентом корреляции Пирсона [Электронный ресурс] URL: <https://lektsii.org/7-47322.html> (дата обращения 22.05.2023)

31. Лекция 11. Методы измерения тесноты парной корреляционной связи. [Электронный ресурс] URL: [http://edu.tltsu.ru/sites/sites\\_content/site216/html/media96435/lec\\_11-1.pdf](http://edu.tltsu.ru/sites/sites_content/site216/html/media96435/lec_11-1.pdf) (дата обращения 03.05.2023)

32. Руководство к ППП MathCa

