



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

Кафедра прикладной и системной экологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

**На тему** Оценка экологического состояния р. Охты методами биоиндикации

**Исполнитель** Копылов Никита Сергеевич

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Зуева Надежда Викторовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

«15» 06 2023

Санкт-Петербург

2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	2
1. Физико-географическая характеристика р. Охта и ее притоков .....	4
1.1. Месторасположение р. Охты и ее притоков.....	4
1.2. Климатическая характеристика .....	6
1.3. Геология и почвы .....	7
1.4. Растительный и животный мир .....	8
1.5. Гидрологическая характеристика.....	9
1.6. Загрязняющие вещества и источники их поступления в воды р. Охта ....	10
2. Материалы и методы .....	14
2.1. Техника пробоотбора на реке .....	14
2.2. Определение качества воды .....	18
3. Характеристика макрозообентоса р. Охта и ее притоков р. Лубья и р. Оккервиль.....	25
3.1. Использование макрозообентоса в оценке качества вод .....	25
3.2. Характеристика макрозообентоса в исследуемых водных объектах. ....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	49

## ВВЕДЕНИЕ

Антропогенное воздействие на экосистемы водных объектов увеличивается с каждым годом. Поступление органических и неорганических веществ нарушает естественный баланс между абиотической и биотической составляющими, что приводит к уменьшению устойчивости системы и гибели организмов, уменьшению видового разнообразия. Многолетние наблюдения доказывают информативность качественных и количественных показателей гидробиоценоза при изменении состояния водных объектов. Зообентосное сообщество является хорошим индикатором загрязнения придонного слоя и водных экосистем в целом [1].

Река Охта является одной из наиболее многоводных водотоков региона Санкт-Петербург и имеет большое культурно-эстетическое значение для города. На водоток идет антропогенное влияние со стороны г. Санкт-Петербург, населенных пунктов, парковых зон, спортивных объектов и транспортной сети. Наблюдение за изменением качества для данной реки является актуальным.

Целью работы является оценка экологического состояния реки Охта и ее притоков по характеристикам макрозообентоса.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Дать физико-географическое описание бассейна реки Охта и ее притоков и провести анализ эколого-гидрологических характеристик реки Охта.
2. Рассмотреть теоретические основы использования гидробиологического мониторинга по сообществам макрозообентоса при оценке состояния вод.
3. Ознакомиться со способами отбора проб и методами оценки состояния водоемов по данным о макрозообентосе, указать методы, используемые при проведении наблюдений на реке Охта и ее притоков.

4. Проанализировать полученные в ходе полевых работ материалы и произвести расчёт биологических индексов и метрик.

5. Произвести оценку экологического состояния исследуемой реки Охты.

## 1. Физико-географическая характеристика р. Охта и ее притоков

### 1.1. Месторасположение р. Охты и ее притоков

Река Охта, известная также как Большая Охта, является самым крупным правым притоком Невы и протекает по территории Ленинградской области и города Санкт-Петербург. Она входит в бассейн Балтийского моря и получила свое название от ижорского и водского слов, означающих "Медвежья". [2].

Река Охта истоки которой находятся в болотах Всеволожского района Ленинградской области, начинает свой путь с Лемболовской возвышенности. Ее устье расположено всего в 12,5 километрах от места впадения в реку Неву, на территории города Санкт-Петербурга. Река Охта имеет свое начало на территории Всеволожского района Ленинградской области и затем протекает на северо-востоке Санкт-Петербурга. Данная река является крупнейшим правым притоком реки Невы и впадает в нее недалеко от бывшего Петрозавода, в районе Большеохотинского моста. Водосборный бассейн реки Охта находится на северо-западе и западе и граничит с бассейном восточного побережья Финского залива и водосбором реки Сестра. На северо-востоке он соприкасается с бассейнами рек, впадающих в Ладожское озеро, а также с рекой Морье. Густота речной сети на территории водосбора Охты составляет 1,29 км/км<sup>2</sup> [2].

Охта – река, относящаяся к Балтийскому бассейну, расположенная территориально в Ленинградской области и г. Санкт-Петербурге, крупнейший приток р. Невы. Река Охта простирается от Лемболовской возвышенности до северо-восточной части Санкт – Петербурга, впадая в реку Неву в районе Большеохтинского моста, а также являясь ее крупнейшим правым притоком. На территории водосбора Охты плотность речной сети составляет 1,29 км/км<sup>2</sup>. Водосборный бассейн реки Охты (можно убрать, а то

езде река Охта звучит, и так понятно) примыкает к бассейну восточного побережья Финского залива на северо-западе и западе.

Река Оккервиль протекает через Ленинградскую область и Санкт-Петербург. Исток реки находится в Всеволожском районе Ленинградской области рядом с садовым массивом Мяглово-Карьер. Она пересекает деревню Новосергиевка и город Кудрово, а также проходит через Невский и Красногвардейский районы Санкт-Петербурга. Устье реки Оккервиль находится в Красногвардейском районе, где она впадает в реку Охта слева, примерно на 1,8 км выше места впадения Охты в реку Неву.

Таким образом, р. Оккервиль является притоком реки Охта и входит в бассейн реки Нева, принадлежащий Балтийскому бассейновому округу. Ее длина около 20 км, из которых 14 км в Ленинградской области и 6 км в Санкт-Петербурге. В верховьях реку Оккервиль по оба берега окружает лесной участок, при приближении к Новосергиевке древесная растительность остается только на левом берегу. Далее река протекает через урбанизированную территорию[3].

Река Лубья находится на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Относится к бассейну р. Невы и Балтийского моря, является левым притоком реки Охты. Ее исток находится в озере Симонина на улице 1-е Ждановское Озеро в деревне Озерки 1-е Всеволожского района Ленинградской области, впадает в реку Охту в микрорайоне Ржевка, всего в 8 километрах от устья Охты в городе Санкт-Петербурге. Длина реки Лубья составляет 26 километров, а площадь ее водосборного бассейна составляет 173 км<sup>2</sup>. Общее падение реки составляет около 30 метров, а уклон примерно 1,1 метра на каждый километр. Водоохранная зона реки имеет ширину 100 метров от уровня воды. Средняя глубина реки Лубья колеблется от 0,4 до 1 метра, но во время паводков может достигать 3 метров. Ширина реки варьирует от 5 до 18 метров, а возле плотины во Всеволожске она достигает 50-60 метров. По берегам реки Лубья растет сосновый лес, а с правого берега можно наблюдать осушенные болотные участки. В реке Лубья обитают

различные виды рыб, такие как щука, окунь, карась, плотва, верховка, ёрш, пескарь [4].

## 1.2. Климатическая характеристика

Река Охта расположена в водосборном бассейне, который простирается по умеренному климатическому поясу атлантико-континента. В данном регионе климат определяется влиянием морских атлантических и континентальных воздушных масс умеренных широт, а также частыми вторжениями арктического воздуха. Воздействие указанных факторов приводит к формированию климата с высокой влажностью воздуха. Лето в этом регионе характеризуется умеренной теплотой и высокой влажностью, а зима - продолжительным умеренным холодом. В холодный период на регион оказывает наибольшее влияние Атлантика. Это связано с потоками тепла, которые приносят с собой атлантические циклоны, и благодаря им зима становится более мягкой и комфортной. Зимой в бассейне реки можно выделить две зоны с разной температурой. Северные районы оказываются наиболее холодными, в то время как южные районы наслаждаются более теплым климатом [5].

В данном регионе средняя многолетняя температура воздуха составляет  $4,4^{\circ}\text{C}$ . Январь является самым холодным месяцем, средняя температура которого составляет  $-8^{\circ}\text{C}$ , а июль - самым теплым, средняя температура которого достигает  $17,7^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры в этом регионе достигает  $-36^{\circ}\text{C}$ , а максимум  $37^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 169 суток, а периода с температурой воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$  - 220 суток. Отмечается, что внутригодовой ход температуры поверхности почвы аналогичен ходу температуры воздуха [5].

На этой территории годовая норма осадков составляет 620 мм. Наименьшее количество осадков обычно выпадает в марте (32 мм), а

наибольшее – в августе (82 мм). Снежный покров появляется в конце октября или начале ноября, и достигает максимальной мощности в конце февраля или начале марта. В течение 1999-2008 годов максимальная высота снежного покрова за зиму была 69 см, а таяние снега обычно начинается к 30 марта. Средняя многолетняя величина суммарного испарения с поверхности суши за год составляет 430 мм, а норма годовой величины испарения с водной поверхности – 540 мм[5].

В теплый период года на этой территории преобладают ветры западных и юго-западных направлений, а средняя скорость ветра составляет 4,3 м/с. Наибольшие среднемесячные скорости ветра обычно наблюдаются в январе и ноябре (4,7 м/с), а наименьшие - в августе (3,7 м/с) [5].

### 1.3. Геология и почвы

Санкт-Петербург расположен в Приневской низменности на берегу Невской губы Финского залива, а также на множестве островов Невской дельты, которые находятся у устья реки Невы. Рельеф данной местности образовался благодаря действию ледника (Валдайское оледенение) и деятельности Литоринового моря и реки Невы, которые в свою очередь способствовали абразионным и аккумулятивным процессам. Серогумусовые аллювиальные почвы глееватые и глеевые преобладают в устье реки Охты. Бассейн реки Охта расположен на территории, которая относится к группе ландшафтов озерно-ледниковых песчаных групп [6].

На данной территории преобладает равнинный тип ландшафта. Истоки реки расположены на склоне северной возвышенности, в районе Лемболовских высот, высота которых составляет примерно 200 метров над уровнем моря. Объединение двух ручьев является началом реки, а вниз по течению долина реки развивается хорошо, имея ширину от 50 до 80 метров. Естественный дренаж на данной территории слабый, а дно реки ровное и

состоит в верхней части бассейна в основном из песчаных пород, а в нижней – из суглинистых и глинистых пород [6].

#### 1.4. Растительный и животный мир

Эта территория расположена в южной тайге, и ее растительный покров в основном состоит из вторичных сообществ, из-за повышенной антропогенной нагрузки. Общее впечатление от этого района - бедность и однообразность, за исключением некоторых прибрежных озерных территорий и Лемболовской возвышенности, где видовое разнообразие значительно больше благодаря наличию немногих редких боровых, озерных и гипоарктических видов. Леса здесь можно классифицировать как хвойные, мелколиственные и широколиственные. Однако, на многих участках деревья растут в виде небольших фрагментов сообществ, поэтому они не полностью представляют отдельные формации. Флора сосудистых растений типична для северного района Санкт-Петербурга, а мхи и мохообразные встречаются часто на этой территории. Однако, лишенофлора здесь довольно бедная из-за высокой антропогенной нагрузки и загрязнения воздуха[7].

Из-за серьезных изменений прибрежной зоны реки Охты герпетофауна на данной территории значительно обеднена. Условия для устойчивых популяций герпетофауны создаются только на некоторых участках. Вместе с тем, орнитофауна подвергается влиянию человеческой деятельности, однако на данной территории обитает 87 видов птиц. Эти виды представлены различными эколого-фаунистическими комплексами, включая водно-болотные, лесные, лугово-кустарниковые, а также несколько видов синантропного комплекса. На указанной территории было зарегистрировано 18 видов млекопитающих, и она может быть условно разбита на типичные места обитания этих животных, такие как сосновые и сосново-смешанные леса, пойменные леса, открытые леса и околородные станции [7].

### 1.5. Гидрологическая характеристика

Длина реки Охта составляет 99 километров, а площадь водосборного бассейна - 768 км<sup>2</sup>. Расстояние между истоком и устьем реки прямолинейно составляет приблизительно 45 километров. Коэффициент извилистости реки равен 2,2. Общее падение реки составляет 141,5 метров, а общий уклон – 1,43 м/км. Река Охта характеризуется переменной шириной, которая варьируется от 10 до 50 метров. Глубина реки также различна и может достигать от 50 сантиметров до 5,5 метров [2].

Река Охта получает свое питание преимущественно из болот и озер, которые находятся в верхней части ее водосборного бассейна, а также от ее притоков. В устьевом участке реки Охта, уровень воды подвержен регулированию основным притоком - рекой Невой, а также зависит от объема сбросов из Охтинского водохранилища. Начиная с конца марта или начала апреля, наступает период весеннего половодья, характеризующийся повышенным уровнем воды. В это время наблюдается максимальный расход воды, особенно во время весеннего половодья и осенне-зимних паводков [2].

Река Охта имеет длительный сезон ледостава, который начинается в начале ноября и продолжается до конца марта. Ее русло характеризуется низким уровнем извилистости и равномерным иловым дном, состоящим из суглинков. Ширина реки Охта в ее нижнем течении достигает 40-60 метров, а берега характеризуются крутым склоном высотой 4-5 метров от уровня воды. В бассейне Охты густота речной сети составляет 1,29 км/км<sup>2</sup>, в то время как озёрность незначительна и составляет всего 1% [7].

В верховьях реки скорость течения достигает 0,3 м/сек, а в среднем течении ширина составляет 6 метров, а глубина - 0,9 метра. После протекания через Вартемягу, река Охта характеризуется твердым дном. На этом участке скорость течения снижается до 0,2 м/сек, а ширина реки

увеличивается до 7 метров. В то же время, глубина реки снижается до 70 сантиметров. В районе Мендсар, ширина реки Охта снова сокращается до 6 метров, а глубина уменьшается до 50 сантиметров. Кроме того, на этом участке дно реки становится вязким. Участок перед впадением Пипполовки характеризуется снижением скорости течения реки Охты до 0,1 м/сек [7].

По мере приближения к поселку Токсово, река расширяется до 18 метров в ширину, имеет глубину 1,7 метра и песчаное дно. В районе Энколово река Охта приобретает увеличение скорости течения до 0,2 м/сек, а грунт становится более прочным. Далее, у деревни Лаврики, скорость течения достигает 0,3 м/сек [8].

В нижнем течении реки Охта, между впадением ручьев Капральев и Муринский, русло значительно расширяется до 30 метров в ширину. Глубина реки достигает 2 метров, а дно отличается твердым грунтом. В 9 километрах от устья реки находится Ржевский гидроузел, где расположена плотина Охтинского водохранилища. Водоохранилище имеет русловый тип и протяженность 5,1 километра. В верхней части водоема его ширина составляет 120 метров, а у плотины она увеличивается до 200-250 метров. Максимальная глубина в водохранилище достигает 6,2 метра, а его полезный объем составляет около 4 миллионов кубических метров. [8]

Река Охта продолжает своедвижение через территорию города Санкт-Петербург после Охтинского водохранилища, и здесь скорость течения остается стабильной на уровне 0,1 м/сек. Устьевой участок реки Охты, который находится ниже плотины, подвержен влиянию регулирования уровней воды в реке Неве [8].

#### 1.6. Загрязняющие вещества и источники их поступления в воды р. Охта

В годовом докладе Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-

Петербурга за 2021 год, рассматривающем экологическую ситуацию в городе, особое внимание уделено реке Охта. В этом докладе отмечается, что на реке Охта функционируют три пункта наблюдения за состоянием воды. Из них два пункта (№1 и №2) находятся в пределах города.

В створе №1, который находится в пределах Санкт-Петербурга, на расстоянии 0,05 км выше устья и в центральной части реки, были проведены исследования по качеству воды. Ниже приведены примеры, когда концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) значительно превышали предельно допустимые значения (ПДК). Если в пробах были обнаружены значения ниже ПДК, то эти данные не учитывались при расчетах[9].

3 февраля 2020 года – Концентрация марганца составляла 46,0 ПДК. 2 марта 2020 года – Концентрация марганца составляла 34,0 ПДК. 7 апреля 2020 года – Концентрация марганца составляла 32,0 ПДК.

В створе №2, который находится в районе моста по проспекту Шаумяна, на расстоянии 1,5 км выше устья и на поверхности реки, были проведены анализы качества воды. Результаты исследований показали следующие значения концентрации марганца относительно предельно допустимой концентрации (ПДК):

3 февраля 2020 года – Концентрация марганца составляла 43,0 ПДК. 2 марта 2020 года – Концентрация марганца составляла 36,0 ПДК. 7 апреля 2020 года – Концентрация марганца составляла 30,0 ПДК [9].

Характеристика загрязненности воды реки Охты в створах №1 и №2 указывает на "грязное" состояние. Расчет показателя загрязнения основан на 17 различных компонентах, включая растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода за 5 дней (БПК5), химическое потребление кислорода (ХПК), фенол, нефтепродукты, аммонийный азот ( $\text{NNH}_4$ ), нитритный азот ( $\text{NNO}_2$ ), общее содержание железа (Fe), меди (Cu), цинка (Zn), никеля (Ni), марганца (Mn), кадмия (Cd), свинца (Pb), хлоридов, сульфатов и поверхностно-активных веществ (СПАВ).

Исследования, проведенные в створах №1 и №2, выявили высокую концентрацию марганца в воде, что свидетельствует об экстремальном загрязнении. Створ №3 расположен на границе между городом Санкт-Петербургом и Ленинградской областью.

Информация о загрязнении реки Охты в створе №3 получена из доклада, составленного комитетом по природным ресурсам Ленинградской области в 2021 году. В докладе использовались удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УИКЗВ) и число критических показателей загрязненности воды (КПЗ) для анализа состояния загрязнения. Критическим показателем загрязнения считается тот, для которого обобщенный оценочный балл равен или превышает 9.

Во время измерений были обнаружены концентрации хлорорганических пестицидов, ниже пределов чувствительности метода определения. Также было замечено, что абсолютное содержание растворенного кислорода находилось ниже нормы в период с июня по сентябрь [9].

Максимальные значения по 9 показателям, превысившим нормативы, были следующими: ХПК – 4,1 нормы; БПК5 – 3,6 нормы; азот аммонийный – 3,7 ПДК; азот нитритный – 15,9 ПДК; железо общее – 16,0 ПДК; медь – 16,1 ПДК; цинк – 2,7 ПДК; никель – 1,5 ПДК; марганец – 47,5 ПДК.

Среднегодовые значения, превышающие нормативы, были зарегистрированы по следующим показателям: ХПК (2,2 нормы); БПК5 (1,9 нормы); азоту аммонийному (1,8 ПДК); азоту нитритному (6,7 ПДК); -железу общему (9,5 ПДК); меди (7,2 ПДК); цинку (2,3 ПДК); марганцу (22,0 ПДК).

Загрязнение воды характеризуется различными параметрами. ХПК, БПК5, азот аммонийный, азот нитритный, железо общее, медь, цинк и марганец считаются "характерными" показателями, в то время как никель характеризуется как "неустойчивый". На общую оценку степени загрязненности воды наибольшее влияние оказывают растворенный

кислород, ХПК, БПК<sub>5</sub>, азот аммонийный, азот нитритный, железо общее, медь, цинк и марганец.

В 2021 году река Охта представляет собой очень загрязненную водную систему. Согласно удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ), состояние воды оценивается на уровне 5,03, что соответствует 4 классу и разряду "в". Важно отметить, что в предыдущем году, в 2020, состояние воды было классифицировано как грязное, с УКИЗВ равным 4,34, соответствующим 4 классу и разряду "а".

Таким образом, состояние воды ухудшилось за прошедший год, что является значительным изменением. В течение периода с 2017 по 2021 годы оценка загрязнения оставалась неизменной [9].

Учитывая такое резкое изменение состояния загрязненности воды реки Охты, требуется особое внимание и проведение мероприятий для оценки и улучшения их качества.

## 2. Материалы и методы

### 2.1. Техника пробоотбора на реке

Станции проведения полевых работ.

Работы по отбору проб проводились на учебной практике 2022 году. Также были собраны и проанализированы гидрохимические показатели р. Охта и ее притоков.

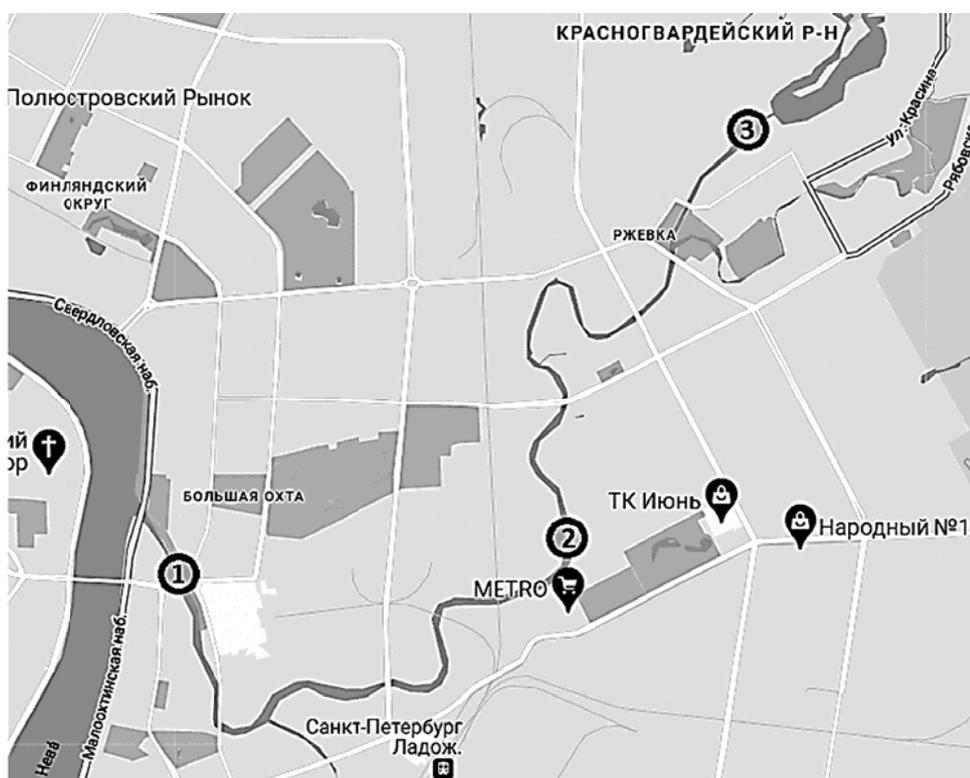


Рисунок 1 – Станции отбора проб на р. Охта, 2022 г.

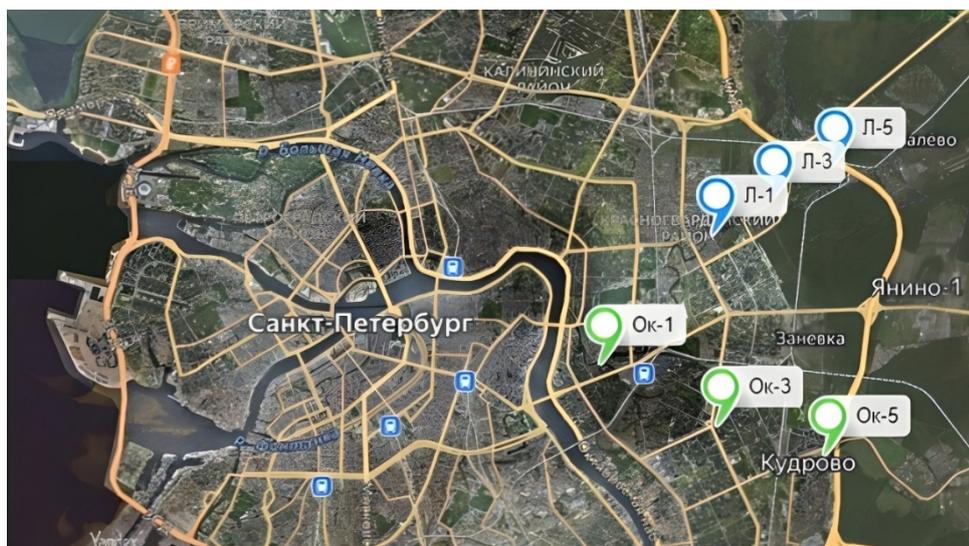


Рисунок 2 – Станции отбора проб на р. Лубья и р. Оккервиль, 2022 г.

Фауна грунта обладает разнообразием беспозвоночных организмов, которые населяют его поверхность и проникают в его толщу. Для подробного исследования этих организмов в количественном аспекте используются специальные инструменты – дночерпатели. Они предназначены для сбора образцов из различных слоев грунта. Универсального дночерпателя, который одинаково эффективно работал бы на всех типах грунта, не существует. Поэтому рекомендуется использовать несколько различных конструкций дночерпателей, каждая из которых предназначена для отбора проб в зависимости от особенностей и характера донных осадков. Такой подход позволяет получать более точные и надежные данные о составе фауны грунта. Использование различных типов дночерпателей, адаптированных к специфическим условиям сбора проб, способствует более точному и всестороннему изучению биологического состава грунта. Такой подход является рекомендуемым и позволяет получать более полную информацию о разнообразии жизни в грунте[10].

Для сбора образцов на мягких илистых грунтах применяются разные модели дночерпателей. Одной из них является ковшевой дночерпатель Петерсена. Он используется для сбора образцов на песчаных грунтах в реках. Он позволяет эффективно собирать образцы, сохраняя точность и

надежность. Если же встречаются плотные или задернованные грунты, рекомендуется применять его утяжеленную модель [10].

Отбор проб с помощью дночерпателя осуществлялся с заякоренной лодки. Перед началом отбора необходимо измерить глубину. На мелководье это можно сделать с помощью размеченного шеста, а в более глубоких местах используется ручной лот, который замачивают, чтобы трос с грузом отметил глубину. Если для спуска и подъема дночерпателя используется лебедка, то обычно применяется блок-счетчик, который позволяет отслеживать длину троса, удерживающего дночерпателя [10].

Для отбора проб с помощью дночерпателя следует соблюдать определенные шаги. Вначале, дночерпатель плавно опускается в открытом состоянии, и достижение дна можно определить по ослаблению натяжения троса. Затем, в зависимости от конструкции дночерпателя, производится закрытие прибора, чтобы захватить определенный объем грунта. После этого начинается подъем дночерпателя. Для обработки отобранного грунта существуют несколько вариантов. Его можно поместить в таз, кювету, ящик или на промывательный станок, а затем открыть дночерпатель. Грунт можно смыть струей воды через отверстие на крышке промывательного станка или аккуратно приподнять дночерпатель над приемной емкостью, чтобы освободить его от грунта. Остатки грунта на стенках дночерпателя следует смыть в основную пробу [11].

Если дночерпатель не полностью заполняется грунтом при отборе, проба считается неполноценной, и процедура повторяется. Если полученная проба не соответствует требованиям качества, всё же можно взять образец грунта для механического анализа донных отложений из этой отвергнутой пробы. Для этого перед промывкой грунта из основной пробы отбирают небольшое количество грунта и помещают его в баночку [11].

На водоеме можно оценить тип донных отложений по следующей шкале:

Каменистый: дно покрыто в основном камнями.

Каменисто-песчаный: среди камней есть участки с открытым песчаным грунтом.

Песчаный: преобладает песок, но могут встречаться камни.

Песчано-илистый: песок частично или полностью покрыт илом.

Илисто-песчаный: преобладающая фракция - ил, но можно почувствовать присутствие песка при растирании между пальцами.

Глинистый: при растирании ощущается пластичность.

Задернованные почвы: встречаются в искусственных водоемах. [10]

Эта шкала помогает приблизительно определить характер донных отложений непосредственно на водоеме. [10]

На каждой станции, где производится сбор донной фауны, определяется характер грунта. Аналитические лаборатории занимаются определением типа донных отложений с помощью механического анализа. Для этой цели отобранный грунт высушивается на воздухе или в теплом месте [11].

После сбора проб дночерпателем на водоеме, проводится немедленная промывка извлеченного грунта. Для этого применяются различные методы разделения грунта и организмов. Если требуется обработать большие объемы пробы, промывка грунта проводится с использованием специального станка. Станок представляет собой деревянный корпус с набором ящиков-сит, которые выполняют функцию разделения грунта и организмов.

Перед промывкой песчаного грунта для выборки фауны проводят отмачивание. Вода из таза переливают в сачок-промывалку с мешком из газа. После отмачивания осматривают грунт, выбирают животных и удаляют грунт. Сбор организмов с промывных сит проводят после промывки проб. Осматривают крупные объекты на верхнем сите и собирают организмы. Живые формы макробентоса собирают на водоеме. Грунт из пробы разделяют на порции и добавляют воду. Для разделения грунта с растительным субстратом и организмами используют метод флотации. Грунт из пробы помещают в раствор соли, собирают всплывшие организмы и

осматривают грунт для сбора остальных организмов. Пробы с организмами мезобентоса фиксируют в растворе формалина, а выборка животных проводится стационарно[11].

## 2.2 Определение качества воды

Организмы, присутствующие в пробах, обладают определенным распределением численности и биомассы, которое может быть описано статистическими законами. Для бентосных организмов наиболее характерными являются отрицательное биномиальное или логнормальное распределения, а при низкой плотности популяции – распределение Пуассона. При изменении условий обитания, таких как загрязнение, параметры этих статистических распределений также изменяются. Обычно с ухудшением условий асимметрия увеличивается, а при улучшении – уменьшается. Иногда распределение может иметь несколько пиков. Для оценки достоверности различий между распределениями используются соответствующие статистические критерии, такие как критерий хи-квадрат, Колмогорова-Смирнова и другие. В контексте морского бентоса этот метод показал некоторые преимущества по сравнению с традиционными подходами. Однако его недостатком является необходимость собирать большое количество проб, например, для использования критерия Пирсона хи-квадрат требуется не менее 50 проб[12].

Исследование видового состава бентоса пресноводных водоемов является недостаточным, поэтому методы мониторинга, требующие подробного знания фауны, часто содержат значительные ошибки, которые зависят от степени изученности водоемов и опыта исследователя. В связи с этим, все большую популярность приобретают методы, которые не требуют точной идентификации организмов до вида. Было предложено множество индексов, основанных на соотношении таксонов, более крупных, чем вид, их различной реакции на загрязнение. Особый интерес представляют олигохеты,

так как их относительное обилие в целом или внутри этого таксономического класса является основой для многих индексов [13].

В некоторых методах использование данных о различных группах личинок насекомых и ракообразных является распространенным. Также учитываются различные таксоны макробентосных животных. Необходимо отметить, что индексы, основанные на наблюдениях за личинками водных насекомых, могут быть менее надежными из-за естественных колебаний в популяции этих организмов в разные сезоны. Особенно важно учитывать период массового вылета взрослых насекомых из водоема, так как в этот период значения индексов могут сильно изменяться независимо от степени загрязнения. Поэтому рекомендуется использовать соответствующие методики только для образцов, собранных в одной и той же фазе жизненного цикла насекомых. Это позволит получить более точные и сопоставимые данные о состоянии водной среды [14].

В мировой практике широко применяется индекс Гуднайта-Уитли, который основан на отношении численности олигохет к численности общего бентоса. Этот индекс позволяет оценить состояние водоема и классифицировать его по чистоте. Согласно индексу Гуднайта-Уитли, если доля олигохет составляет менее 60%, то состояние водоема считается хорошим. В диапазоне от 60% до 80% доля олигохет означает сомнительное состояние водоема, а при доле олигохет свыше 80% состояние водоема считается тяжелым.

Таким образом, индекс Гуднайта-Уитли позволяет классифицировать водоемы по шести классам чистоты на основе его значения. Индекс, который мы рассматриваем, определяется отношением количества малощетинковых червей, способных выживать в загрязненных условиях, к общему количеству организмов, выраженному в процентах. (2.1):

$$a = \frac{N_{Oligochaeta}}{N_{\text{всех организмов}}} * 100 \%, \quad (2.1)$$

Степень загрязнения определяется исходя из результатов расчета (таблица 1).

Таблица 1 – Показатель загрязненности водоема по олигохетному индексу Гуднайт- Уотлея [15]

Значение индекса, %	Степень загрязнения воды	Класс качества
Менее 30	Отсутствие загрязнения	1-2
30-60	Незначительное	2-3
60-70	Умеренное	3-4
70-80	Значительное	4-5
Более 80	Сильное	5-6

Антропогенное воздействие оказывает существенное влияние на питательные условия в водоемах, что влечет за собой изменения в трофической структуре сообщества. Такие изменения являются важными индикаторами воздействия человека на экосистемы водных ресурсов. В результате антропогенного воздействия трофическая структура бентоса становится более простой, а биоценозы замещаются менее сложными, но существенными для самоочищения водоема. Влияние антропогенного воздействия на трофическую структуру проявляется в изменении доли организмов, питающихся фильтрацией. Эта доля сокращается, в то время как доля детритофагов-глотателей, питающихся органическими отходами, увеличивается. Кроме того, антропогенное воздействие влияет на распределение хищных организмов в водной экосистеме, приводя к сокращению их доли. В случае органического удобрения озер, изменения в трофической структуре еще более выражены. Доля организмов со специализированным типом питания, а также фитодетритофагов, которые питаются растительными остатками, значительно увеличивается [16].

Существуют различные системы сапробности, специально разработанные для оценки загрязнения водоемов. В этих системах каждому виду гидробионтов присваивается числовое значение, отражающее его позицию на шкале сапробности. Например, для ксеносапробов принимается

значение 0, олигосапробов – 1, б-мезосапробов – 2, а-мезосапробов – 3, полисапробов – 4. Вначале проводится оценка сапробности всего сообщества с использованием специальных формул. При этом более детальные системы оценки сапробности практически не используются[17].

После определения сапробиологических характеристик организмов на основе выборочных данных можно использовать различные индексы, которые позволяют охарактеризовать ситуацию с загрязнениями и определить их влияние на зообентос. Эти индексы позволяют суммировать информацию в одно числовое значение, что помогает оценить общую картину загрязнения и его воздействие на биологический состав бентоса [18].

Индекс р. Трент, также известный как индекс Вудивисс, является наиболее известным инструментом, применяемым в отечественной литературе для оценки влияния загрязнения на бентос реки Трент в Англии. В ходе проведения исследования, Вудивисс обнаружил, что с увеличением степени загрязнения реки, выраженной в определенной интенсивности, население донной фауны постепенно утрачивает наиболее чувствительные виды, такие как веснянки, поденки, ручейники и другие. Наблюдения показывают, что при сильном загрязнении остаются только олигохеты (черви) и личинки красного мотыля, в то время как другие группы гидробионтов исчезают. Этот факт был использован Вудивиссом для разделения степеней загрязнения на 10 классов. Он составил таблицу, основываясь на наличии или отсутствии этих групп гидробионтов и общем количестве групп на исследуемом участке. Преимуществом этого метода является его относительная простота в определении указанных групп, что позволяет использовать его не только специалистам-систематикам. В результате своих наблюдений, Вудивисс предложил классификацию возможных степеней загрязнения в 10 классов. Он разработал таблицу, основываясь на присутствии или отсутствии определенных групп гидробионтов и учитывая общее количество таких групп на изучаемом участке. Одним из основных преимуществ этого метода является его

относительная легкость идентификации указанных групп, что позволяет использовать его не только специалистам-систематикам [19].

В исследовании, проведенном Г.Г. Винбергом, было сравнено несколько систем мониторинга зообентоса, и был сделан вывод о том, что метод Вудивисса является наиболее подходящим. Это свидетельствует о его эффективности и применимости для оценки загрязнения водных экосистем. Однако опыт использования этого метода как в нашей стране, так и за рубежом, показал, что он не всегда подходит для различных типов водоемов. Особенно неудовлетворительные результаты получаются при применении его на больших равнинных водохранилищах. Для адаптации метода Вудивисса к конкретным водоемам разных стран было предпринято множество попыток его модификации. В последних версиях этого индекса учтены элементы стандартизации процедуры сбора материала, что являлось одним из недостатков исходного метода. Это позволяет повысить надежность и сопоставимость результатов исследований [20].

Данный показатель учитывает общее разнообразие и наличие так называемых индикаторных организмов в водоеме, так как при повышении загрязненности вод представители этих групп исчезают из водоёмов в определенном порядке (таблица 2).

Таблица 2 – Шкала для определения биотического индекса по Вудивиссу [21]

Показательные организмы	Видовое богатство	Число групп в пробе				
		0-1	2-5	6-10	11-15	≥16
Личинки веснянок (Plecoptera)	больше 1 вида	-	7	8	9	10
	только 1 вид	-	6	7	8	9
Личинки поденок (Ephemeroptera), исключая вид <i>Baetis rhodani</i>	больше 1 вида	-	6	7	8	9
	только 1 вид	-	5	6	7	8
Личинки ручеников ( Trichoptera), включая вид <i>Baetis rhodani</i>	больше 1 вида	-	5	6	7	8
	только 1 вид	-	4	5	6	7
Гаммарусы ( <i>Gammarus sp.</i> )	любое	3	4	5	6	7
Водяной ослик ( <i>Asellus aquaticus</i> )	любое	2	3	4	5	6

Продолжение таблицы 2

Показательные организмы	Видовое богатство	Число групп в пробе				
		0-1	2-5	6-10	11-15	≥16
Oligochaeta, Chironimus	любое	1	2	3	4	-
Все приведенные выше группы отсутствуют	-	0	1	2	-	-

Методика используется только для исследования состояния рек умеренного пояса, однако при исследовании реки Охтыданный метод также был использован [20]. По найденному индексу оценивают качество вод (таблица 3).

Таблица 3– Оценка качества вод по индексу Вудивисса [21]

Биотический индекс	10-7	6-5	4-3	2	1-0
Качество воды	Условно чистая	Слабо загрязненная	Загрязненная	Грязная	Экстремально грязная

Водоем, получивший 0-1 балл является сильнозагрязненным и относится в полисапробной зоне, водное сообщество сильно угнетено.

Полученные 2-4 балла говорят о том, что водоем относится к альфа-мезосапробной зоне, 5-6 баллов –к бета-мезосапробной зоне. Чистые реки являются олигосапробными и получают от 7 до 10 баллов.

Индекс Биологического Мониторинга Рабочей Группы (BMWP) является одним из наиболее используемых индексов биооценки для оценки качества водных экосистем, который присваивает оценки каждому таксону макробезпозвоночных в зависимости от их чувствительности к органическому загрязнению. Однако оценки BMWP должны быть калиброваны для каждых географических и экологических условий[22].

Индекс сапробности по Чернопруду рассчитывается по формуле ():

$$I = \frac{\sum S \cdot J}{\sum J}, \quad (2.2)$$

где  $S$  – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного таксона (от 0 до 4),  $J$  – его индикаторный вес (от 1 до 4) (приложение А).

Индекс, основанный на индексе Пантле-Букка, также позволяет получить значения от 0 до 4 баллов. Важно отметить, что при оценке сапробности не учитывается обилие организмов, что позволяет использовать как количественные, так и качественные данные. Для повышения достоверности оценки сапробности в каждой точке рекомендуется учитывать суммарный индикаторный вес используемых таксонов[23].

Станции проведение полевых работ.

Работы по отбору проб проводились на учебной практике 2022 году. Также были собраны и проанализированы гидрохимические показатели р. Охта и ее притоков.

### 3. Характеристика макрозообентоса р. Охта и ее притоков р. Лубья и р. Оккервиль

#### 3.1 Использование макрозообентоса в оценке качества вод

Бентосными называются организмы, которые существуют в поверхностных и глубинных слоях грунта, и играют важную роль в экосистеме водоемов. Их подразделяют на эндобентос и эпибентос в зависимости от обитания – обитающие внутри или на поверхности грунта. Также их квалифицируют по размеру на микро-(менее 0,1 мм), мезо- и макробентос (более 2 мм). Наиболее известные представители бактерии, простейших (включая корненожки и инфузории), кольчатые черви, ракообразные, личинки различных насекомых, моллюски и иглокожие [1].

Бентосные организмы – постоянные обитатели рек и привязаны к определенным местам, таким как подводные поверхности и грунт. Они могут прикрепляться к субстрату, увеличивать свою плотность или даже погружаться в грунт, используя различные способы. В целом, большинство бентосных организмов характеризуются низкой подвижностью во взрослом возрасте. Однако в молодом возрасте они проявляют большую активность и могут перемещаться в поисках новых мест обитания.

Обитание бентосных организмов привязано к определенному биотопу реки – подводные поверхности и грунт. С помощью различных особенностей своего организма способны закрепляться к субстрату, зарываться в глубь грунта, повышать или понижать свою плотность и так далее. Для некоторых бентосных организмов отличительна малая подвижность и взрослый период жизни [1].

В современное время для оценки состояния водоема применяются не только физико-химические методы, но и биоиндикационные методы. Они основаны на использовании данных о гидробионтах и позволяют анализировать состояние окружающей среды и влияние антропогенных

факторов путем изучения изменений в качественном и количественном составе водного сообщества. Интересно отметить, что уже в древности ученые древнего Рима и Греции обратили внимание на использование живых организмов для определения природных условий, как свидетельствуют сохранившиеся записи.

Для оценки экологического состояния водоема применяются не только физико-химические методы, а также методы биоиндикации, которые проводятся на основе данных о гидробионтах – это позволяет анализировать состояния окружающей среды, влияние антропогенных факторов путем изучения качественного и количественного состава [1].

Биоиндикаторами называют организмы по развитию и численности которых можно отследить состояние экосистемы и влияние антропогенных нагрузки на окружающую среду.

Организмы-индикаторы чувствительны к изменению среды обитания на той территории, на которой они проживают. Различные изменения могут выражаться в изменение численности популяции, структурных изменениях, скорости роста и нарушение целостности тканей. Однако однозначного выделить все факторы и причины, влияющие на живые организмы – нельзя.

Определенные виды организмов могут указывать на чистоту водоема. Загрязненность различных водоемов, например, пресноводных для которых характерна численность таких видов, как личинки веснянок, пресноводные моллюски, вислоккрылок, ручейников и поденок. При умеренном загрязнении вод можно обнаружить такие организмы, как водяные ослики, бокоплавцы, личинки мошек, двустворчатые моллюски-шаровики, битнии, лужанки, личинки стрекоз и пиявки. Загрязненные водоемы могут быть идентифицированы наличием личинок комара-звонца, ильной мухи и малощетинковых кольцецов [24].

Чистота водоема определяется на основе присутствия конкретных видов организмов (моллюсков, личинок веснянок, поденок, вислоккрылок и ручейников), при снижении численности оных может говорить об ухудшении

экологического состояния рек. Есть и обратный пример, если численность некоторых видов превышает общее количество бентосных организмов – это также может говорить об плохом состоянии водоема. Наличие осликов, бокоплавов, личинок мошек, двустворчатых моллюсков-шаровиков, битний, лужанок, личинок стрекоз и пиявок может говорить об умеренном загрязнение.

### 3.2. Характеристика макрозообентоса в исследуемых водных объектах.

В составе бентосных сообществ р. Лубья и р. Оккервиль наблюдались организмы таких таксонов, как семейство Lumbriculidae (люмбрикулиды), семейство Naididae (водяные змейки), Tubificidae (тубифициды), семейство Asellidae (водяные ослики), Sphaeriidae (шаровки и горошинки), Baetidae (баэтиды), Haliplidae (плавунчики), hydrophilidae (водолюбы), Corixidae (гребляки), Ceratopogonidae (мокрецы), Simuliidae (мошки), Chironomidae (хирономиды).

Таксономическое богатство для р. Лубья изменяется в зависимости от станции. На станции Л-1 зафиксированы семейства: Tubificidae (тубифициды), Sphaeriidae (шаровки и горошинки), Chironomidae (хирономиды). Их соотношение показано на рисунке 3.

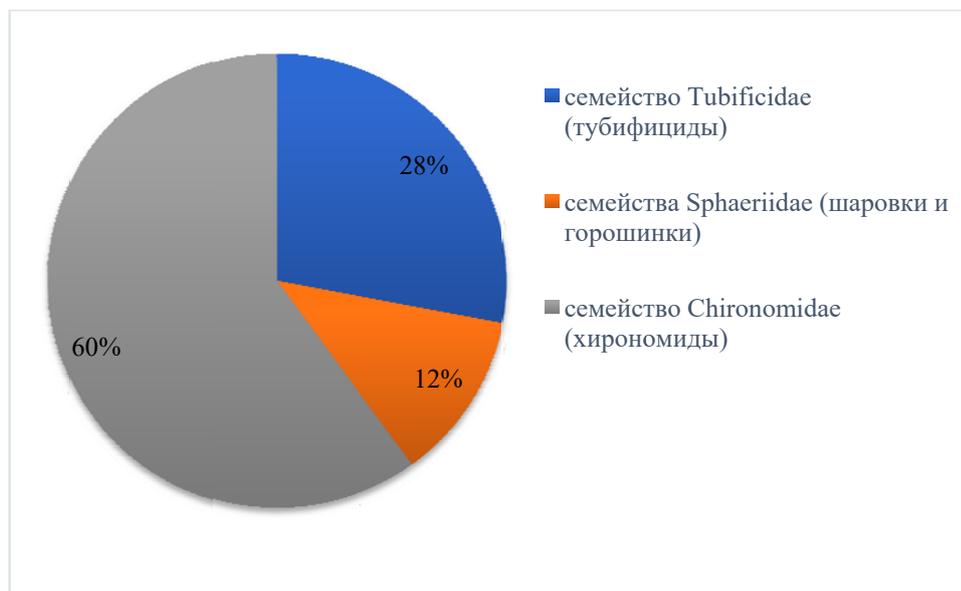


Рисунок 3 – Процентное соотношение обнаруженных семейств бмакрозообентоса на станции Л-1, 2022 г.

На станции Л-3 обнаружены семейства Lumbriculidae (люмбрикулиды), Naididae (водяные змейки), Tubificidae (тубифициды), Sphaeriidae (шаровки и горошинки), Simuliidae (мошки), Chironomidae (хируномиды).

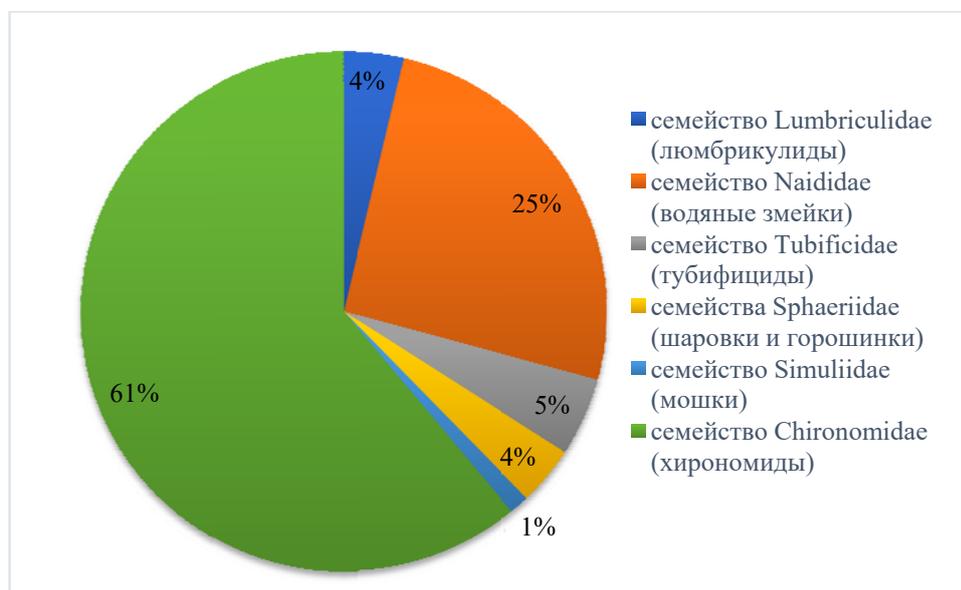


Рисунок 4 – Процентное соотношение обнаруженных семейств макрозообентоса на станции Л-3, 2022 г.

На станции Л-5 найдены семейства: Naididae (водяные змейки), Hydrophilidae (водолюбы), Chironomidae (хируномиды) (рисунок 5).

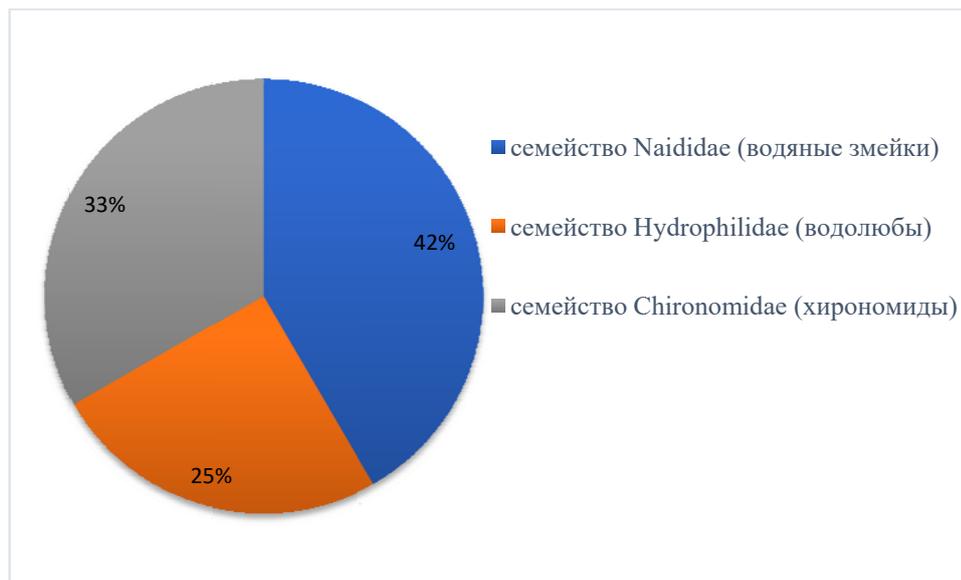


Рисунок 5 – Процентное соотношение обнаруженных семейств макрозообентоса на станции Л-5, 2022 г.

Для реки Оккервиль на станции Ок- 1 макробентосный состав имеет 3 семейства: Tubificidae (тубифициды), Corixidae (гребляки), Chironomidae (хинономиды) (рисунок 6).

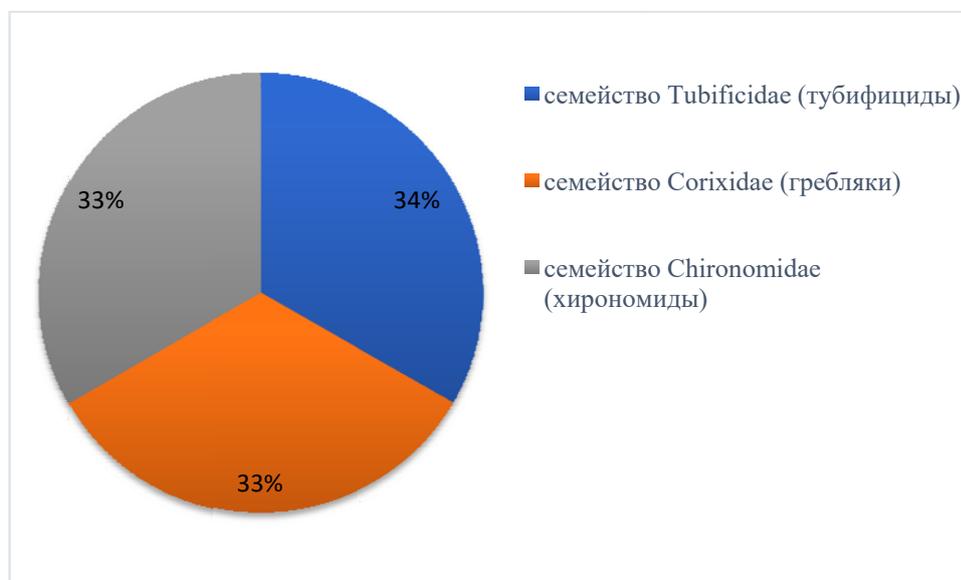


Рисунок 6 – Процентное соотношение обнаруженных семейств макрозообентоса на станции Ок-1, 2022 г.

На станции Ок-3 найдено только 1 семейство: Tubificidae (тубифициды).

На станции Ок-5 найдено 7 семейств: Lumbriculidae (люмбрикулиды), Tubificidae (тубифициды), Asellidae (водяные ослики), Haliplidae (Плавунчики), Ceratopogonidae (мокрецы), Chironomidae (хинономиды), Baetidae (баэтиды) (рисунок 7).

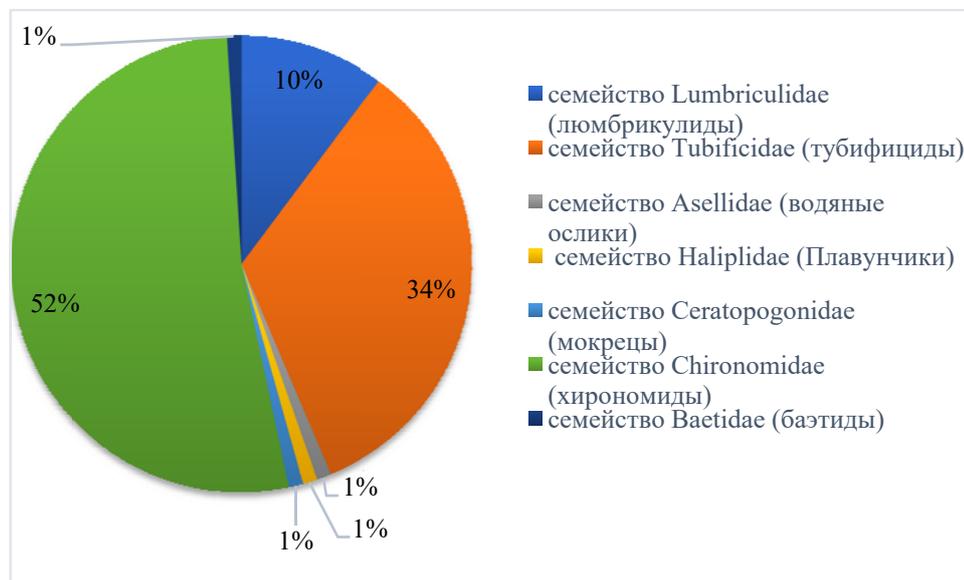


Рисунок 7 – Процентное соотношение обнаруженных семейств макрозообентоса на станции Ок-5, 2022 г.

В 2022 году таксономическое богатство на станциях рек Лубья (станции: Л-1, Л-3, Л-5) и Оккервиль (станции: Ок-1, Ок-3, Ок-5) составило 12 таксонов. На всех станциях наблюдается семейства Tubificidae (тубифициды) и Chironomidae (хинономиды). Это говорит о небогатом видовом составе водоемов связи с их загрязнённостью. Несмотря на это на некоторых станциях имеется относительно разнообразный состав макробентосных групп.

На станции Л-1 преобладают семейство Chironomidae (хинономиды), а за ним Tubificidae (тубифициды) и Sphaeriidae (шаровки и горошинки). Таксономическое разнообразие на этой станции низкое, что говорит о ее загрязненности.

Также доминирует семейство Chironomidae (хинономиды) на станции Л-3, составляя 61 % от общей численности, и присутствует Tubificidae (тубифициды) и Sphaeriidae (шаровки и горошинки). Станция более богата на

таксономическое разнообразие – 25 % от общего показателя составляет Naididae (водяные змейки). Имеются семейство Lumbriculidae (люмбрикулиды) и Simuliidae (мошки). Это станция с самым разнообразным таксономическим составом среди других станций на р. Лубья.

В отличие от других станций р. Лубьи на станции Л-5 наблюдается таксон Hydrophilidae (водолюбы). Имеет такой же таксон Naididae (водяные змейки) как на Л-3 и Chironomidae (хинономиды).

Станция Ок-1 имеет почти равное соотношение численности таксонов семейства Tubificidae (тубифициды), Corixidae (гребляки), Chironomidae (хинономиды).

Бедное содержание таксономической группы станции Ок-3, а именно один таксон семейства Tubificidae (тубифициды) говорит о сильном загрязнении объекта.

Самое богатое таксономическое разнообразие оказалось на станции Ок-5. Самый большой по численности таксон оказался Chironomidae (хинономиды). Также встречается Lumbriculidae (люмбрикулиды), Tubificidae (тубифициды) и в отличие от прошлых станций Ок-5 имеет различные виды таксонов: Asellidae (водяные ослики), Haliplidae (Плавунчики), Ceratorogonidae (мокрецы), Baetidae (баэтиды).

На станции Л-1 преобладает вид *Polypedilumnubeculosum* Meigen, 1804 занимая 40 % от общего показателя, а на станции Л-3 вид *Tanytarsus gr. Gregarius* занимает 32 % (рисунки 8; 9).

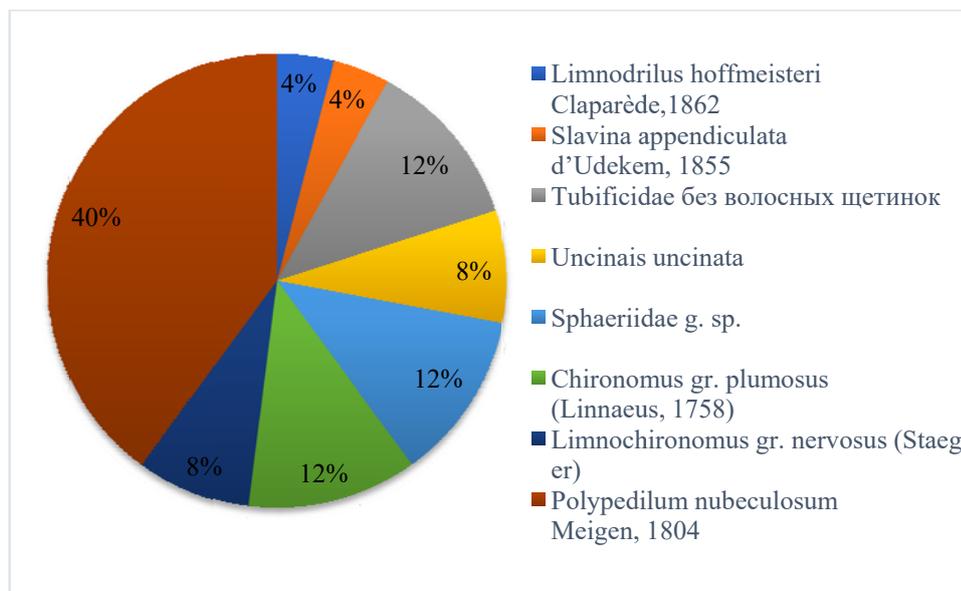


Рисунок 8 – Процентное соотношение видов по численности на станции Л-1, 2022 г.

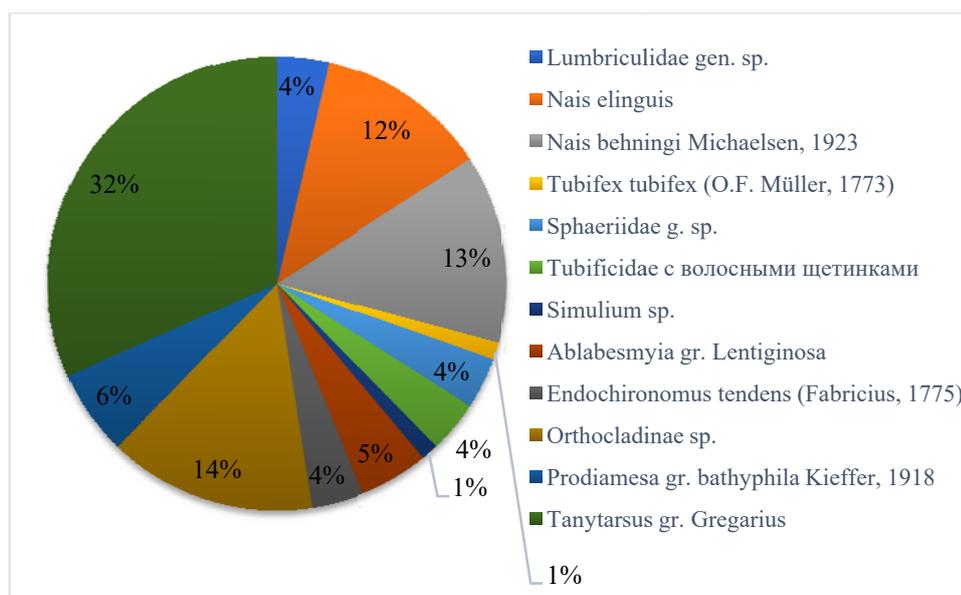


Рисунок 9 – Процентное соотношение видов по численности на станции Л-3, 2022 г.

На станции Л-5 преобладающим видом является *Nais behningi* Michaelsen, 1923, 42% от общего показателя. Виды *Orthocladinae* sp. и *Hydropsyche angustipennis* (Curtis, 1834) составили 33% и 25 % соответственно (рисунок 10).

На станции Ок-1 численность видов *Limnodrilus udekemianus* Claparède, 1862, *Corixidae* sp., *Orthocladinae* sp. почти одинаковая (рисунок 11).

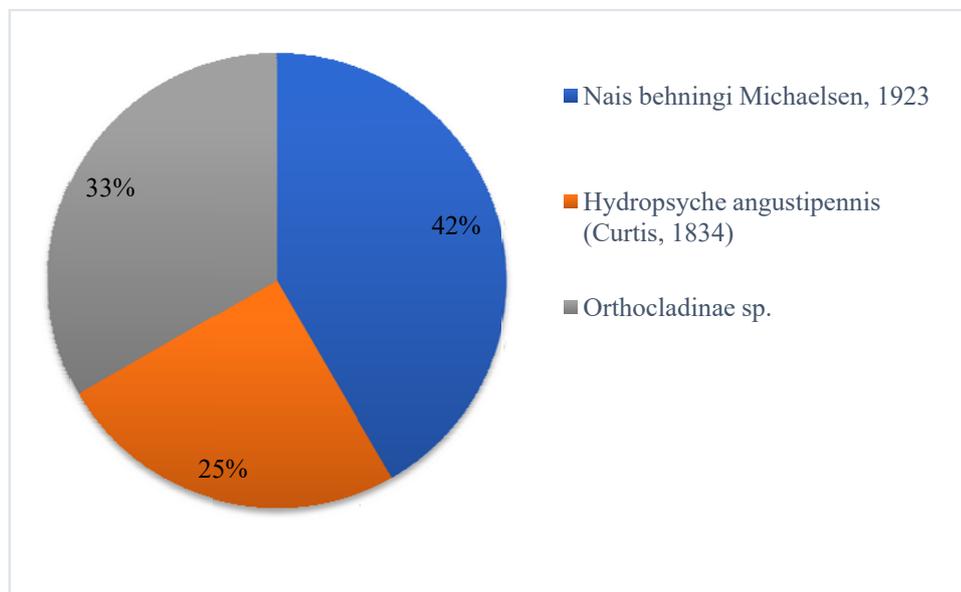


Рисунок 10 – Процентное соотношение видов по численности на станции Л-5, 2022 г.

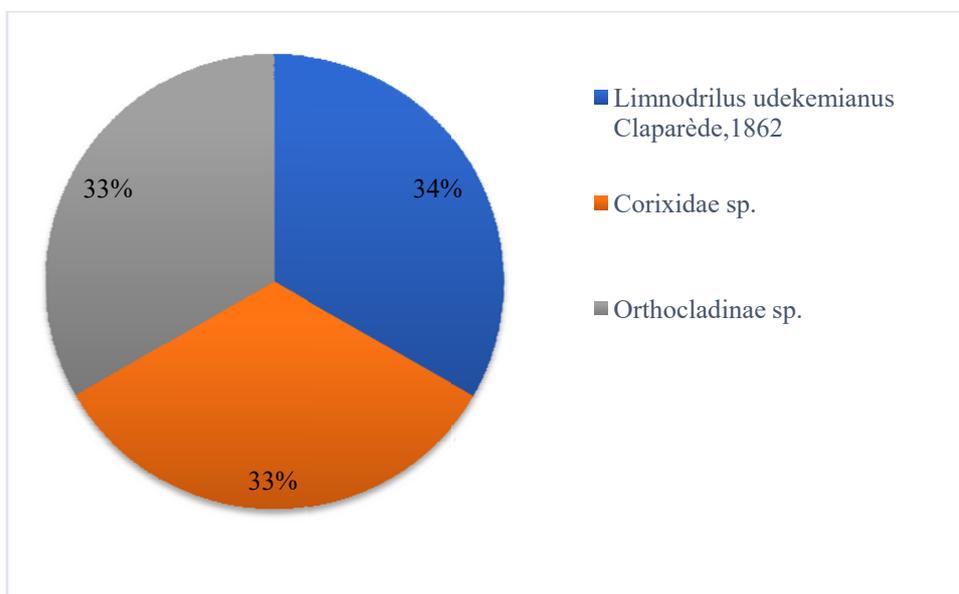


Рисунок 11 – Процентное соотношение видов по численности на станции Ок-1, 2022 г.

Преобладающим видом на станции Ок-3 является *Tubificidae* без волосных щетинок 89 % от общего показателя, а на станции Ок-5 преобладает *Tanytarsus gr. Gregarius* 50 % (рисунки 12; 13).

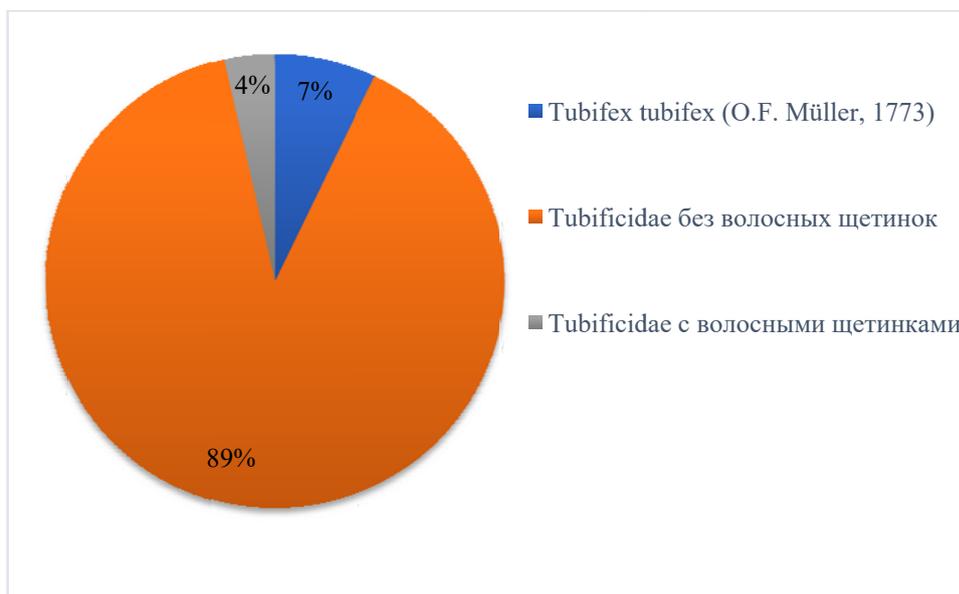


Рисунок 12 – Процентное соотношение видов по численности на станции Ок-3, 2022 г.

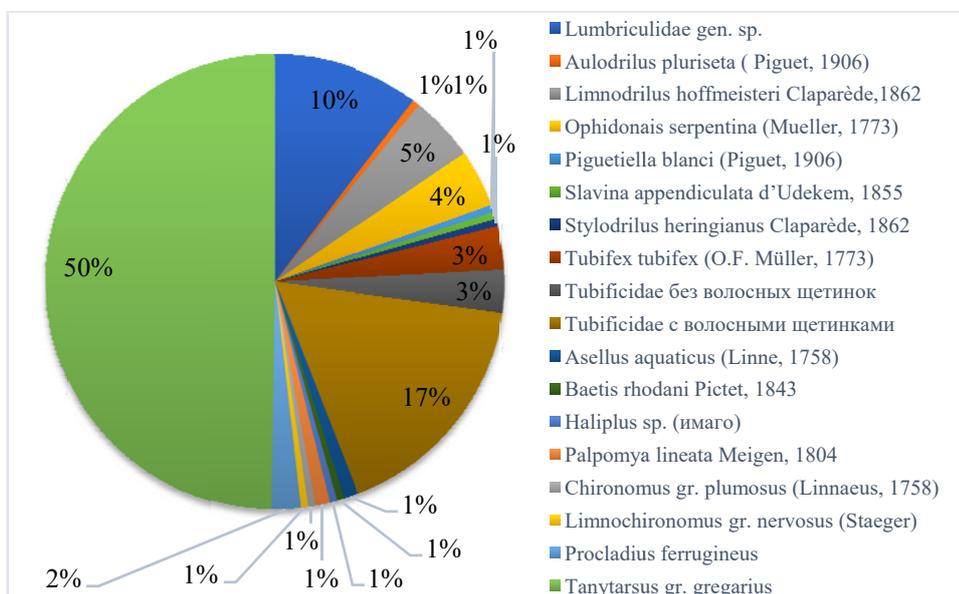


Рисунок 13 – Процентное соотношение видов по численности на станции Ок-5, 2022 г.

На станциях 1 и 2 р. Охты из таксонов обнаружены Oligochaeta (олигохеты) и Chironomidae (хирономиды) (рисунки 14; 15).

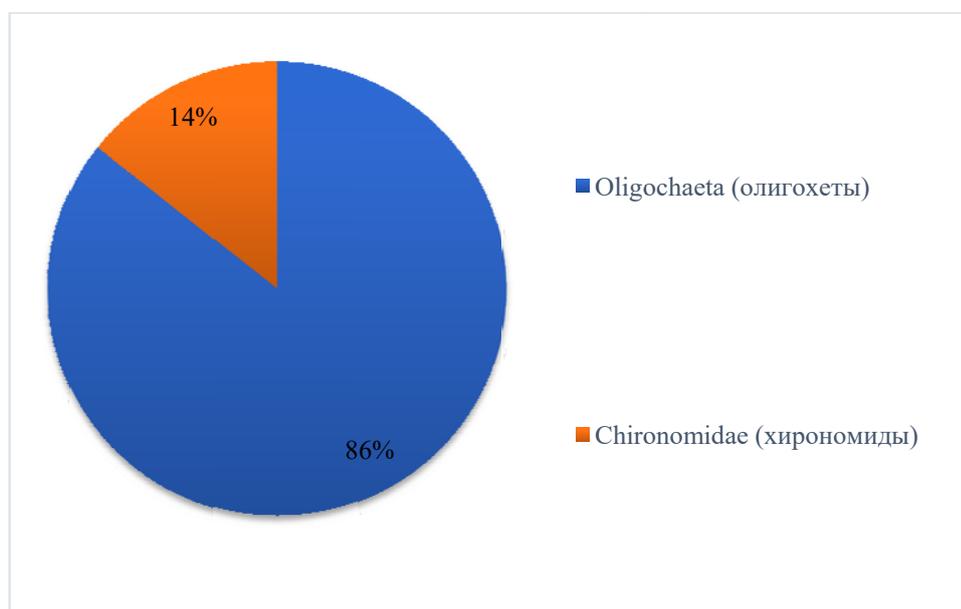


Рисунок 14 – Процентное соотношение обнаруженных таксонов макрозообентоса на станции 1, 2022 г.

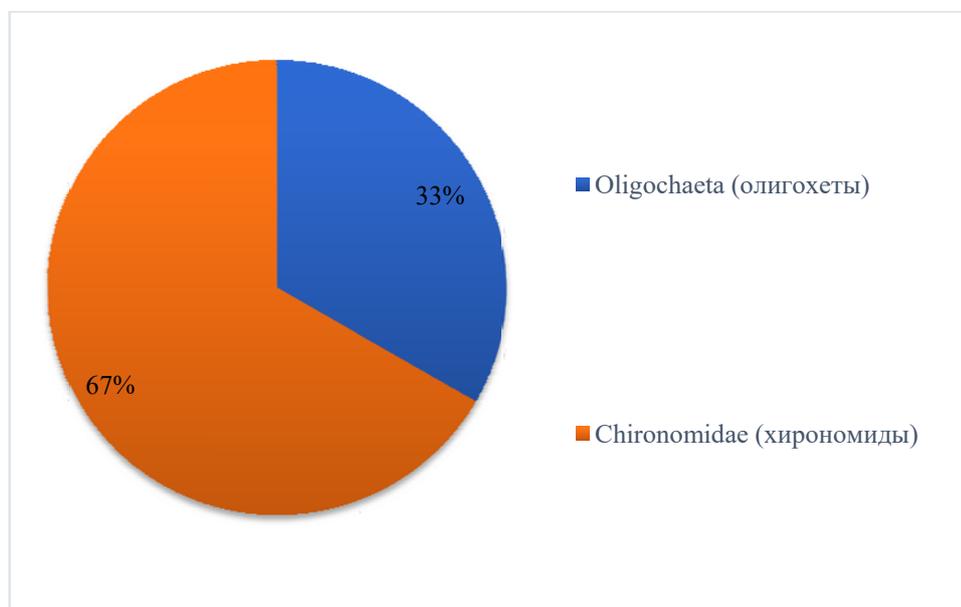


Рисунок 15 – Процентное соотношение обнаруженных таксонов макрозообентоса на станции 2, 2022 г.

Для станции 1 р. Охты таксономическое разнообразие богаче чем на предыдущих станциях. Преобладает Oligochaeta 88% (олигохеты) от общего показателя (рисунок 14)

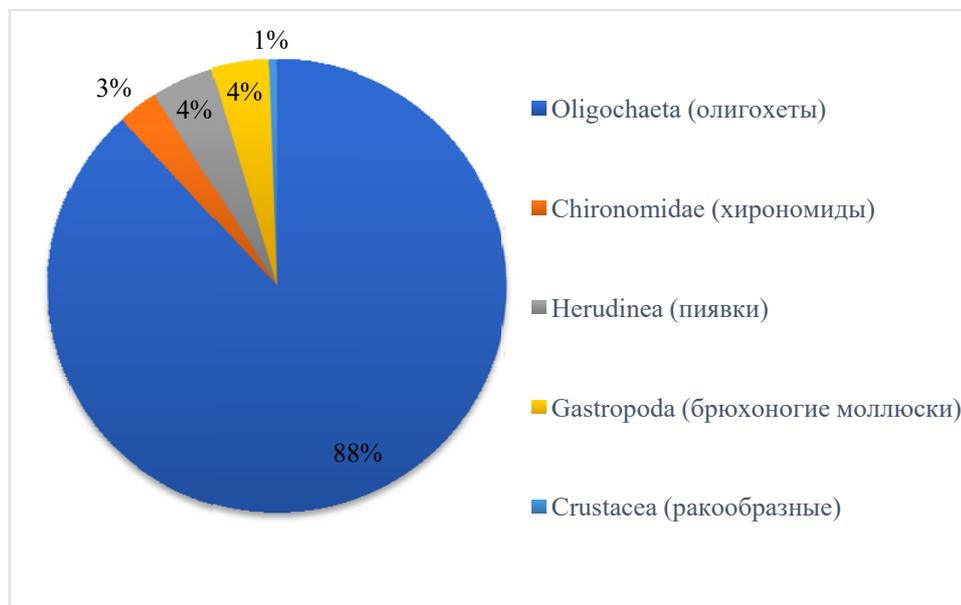


Рисунок 16 – Процентное соотношение обнаруженных таксонов макрозообентоса на станции 3, 2022 г.

По имеющимся данным была произведена экологическая оценка р. Охты и ее притоков р. Лубья и р. Оккервиль и рассчитаны вышеотмеченные в главе «Материалы и методы» биотические индексы и метрики. Результаты расчета представлены в таблице 4.

Таблица 4. Значения индексов на станциях р. Охта за 2022 год

Индекс	Значение индекса, характеристика		
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3
Вудивисса	2 полисапробная зона	2 полисапробная зона	3 $\alpha$ -мезосапробная зона
Олигохетный Гуднайта-Уитли	86 тяжелое состояние	33 хорошее состояние	88 тяжелое состояние

BMWP	2	2	10
	низкое качество	низкое качество	низкое качество

Результаты оценки качества воды и сапробности с использованием индексов свидетельствуют о низком уровне. Несмотря на то, что олигохетный индекс показал "хорошее" состояние воды на станции 2, подробный таксономический анализ выявил наличие только олигохетов и хирономид на данной станции. Это указывает на то, что такая оценка была поверхностной и не подтверждается полным анализом. В свете неожиданных результатов биоиндикационного анализа, обычной практикой является использование нескольких индексов вместе, что и было сделано в данном исследовании.

Дополнительный анализ значений двух других индексов, Вудивисса и BMWP, показал ухудшение качества воды вдоль течения. В частности, станция 3 была оценена немного выше, чем станции 1 и 2. Ранее проведенные исследования [2] также указывали на деградацию экосистемы реки на основе характеристик зообентоса.

Таблица 5. Значения индексов на станциях р. Лубья за 2022 год

	Л-1	Л-3	Л-5
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитли	28	34	42
	чистая	умеренно загрязненная	умеренно загрязненная
Индекс сапробности по Чертопруду	3,5	2,1875	2,33
	а-мезо	б-мезо	б-мезо
	загрязненная	умеренно загрязненная	умеренно загрязненная
Индекс Вудвисса	2	3	2
	полисапробная зона	а-мезосапробная зона	полисапробная зона
	грязная	грязная	грязная
BMWP	6	11	9
	низкое	низкое	низкое

Значение показателей качества рассчитанных по макрозообентосу для станции р. Лубья Л-1 приведены в таблице 5. По олигохетному индексу Гуднайта и Уитли вода оценивается как «чистая». Индексы сапробности по Чертопруду и индекс Вудвисса говорят об органическом загрязнении водной среды, а низкое значение BMWP так же указывает на загрязненность станции.

На станции Л-3 по олигохетному индексу Гуднайта и Уитли оценена как «умеренная загрязненность». Индексы сапробности по Чертопруду и Вудвисса говорит об меньшем органическом загрязнении относительно станции Л-1, как и на станции Л-1. Значение BMWP выше, чем на предыдущей станции, но также относится к качеству водоема «низкое».

Отличие станции Л-5 от предыдущий состоит только в индексе Вудвисса, который характеризует воду как «очень грязная».

Таблица 6. Значения индексов на станциях р. Оккервиль за 2022 год

	Ок-1	Ок-3	ОК-5
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитли	33	100	44
	чистая	очень грязная	умеренно загрязненная
Индекс сапробности по Чертопруду	2,5	2	3,083
	б-мезо	б-мезо	а-мезо
	умеренно загрязненная	умеренно загрязненная	загрязненная
Индекс Вудвисса	2	1	3
	полисапробная зона	полисапробная зона	а-мезосапробная зона
	очень грязная	очень грязна	грязная
BMWP	8	1	15
	низкое	низкое	низкое

Оценка качества вод, полученная по индексу BMWPp. Оккервиль на всех трех станциях низкая. Самый низкий показатель был на станции Ок-3, он составил «1» балл, далее Ок-1, который составляет «8» баллов и Ок-5 с

показателем «15» баллов. Показатель «чистая» для Ок-1 по олигохетному индексу говорит о не превышении общей численности олигохет в сравнение с общим количеством других таксонов, обратная ситуация обстоит со станцией Ок-3, где из таксонов представлены только олигохеты, что характеризует ее как «очень грязную». Ок-5 имеет показатель «умеренно загрязненная». По индексу сапробности по Чертопруду станции Ок-1 и Ок-3 имеют значения «умеренно загрязненная», а Ок-5 «загрязненная». По индексу Вудивисса станции Ок-1 и Ок-3 характеризуются как «очень грязная», а Ок-5 «грязная». В зависимости от индекса оценка состояния каждой отдельной станции может быть различна. Для полноты картины нужно учитывать эти показатели в комплексе (таблица 6).

Таблица 7. Значения индексов на станциях р. Оккервиль за 2018 год

	Ок-1	Ок-5
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитли	20	52
	чистая	загрязненная
Индекс сапробности по Чертопруду	4	3,25
	полисапробная зона	а-мезосапробная зона
	грязная	загрязненная
Индекс Вудвисса	2	3
	полисапробная зона	а-мезосапробная зона
	грязная	грязная
BMWP	8	6
	низкое	низкое

Для более полной и всесторонней оценки взяты данные с учебной практики за 2018 год по р. Оккервиль (таблица 7).

Станция Ок-1 оценивается как «чистая» по олигохетному индексу, в то время как станция Ок-5 классифицируется как «загрязненная». Обе станции имеют низкий показатель индекса BMWP. По индексу Вудивисса, Ок-1

относится к полисапробной зоне, в то время как Ок-5 находится в а-мезосапробной зоне. Оценка сапробности по индексу Чертопруду также указывает на полисапробную зону для Ок-1 и а-мезосапробную зону для Ок-5.

Вывод:

Река Охта, известная также как Большая Охта, является самым крупным правым притоком Невы и протекает по территории Ленинградской области и города Санкт-Петербург.

Организмы макрозообентоса являются хорошими биоиндикаторами, так как заметно реагируют на изменение окружающей среды. В связи с этим целесообразно использование при оценке качества воды индексов сапробности по Чертопруду, Вудивисса, BMWP и Гуднайта и Уитли.

В результате было показано, что качество воды в р. Охта по индексу Вудивисса варьируется от полисапробной до а-мезосапробной вверх по течению, по BMWP качество оценено как «низкое»; олигохетный индекс на станциях 1 и 3 свидетельствует о «тяжелом состоянии», на станции 2 «хорошее состояние». В общем качество реки Охта оценено как "низкое".

Для реки Лубья качество воды по индексу Вудивисса для станции Л-1 и Л-5 соответствует полисапробному, а для Л-3 - а-мезосапробному. По олигохетному индексу вода на Л-1 была «чистая», а на Л-3 и Л-5 - «умеренно загрязненная». BMWP характеризует качество воды на станциях как «низкое». По Чертопруду для станции Л-1 качество воды характеризуется, как «а-мезо», а для Л-3 и Л-5 – «В-мезо».

Для реки Оккервиль качество воды по индексу Вудивисса было оценено для станций Ок-1 и Ок-3 как «полисапробная зона», а Ок-5 а-мезосапробная зона. По индексу Чертопруды для Ок-1 и Ок-3 как «В-зона», а для Ок-5 «а-мезо». BMWP оценен для всех трех станция как «низкое». Олигохетный индекс свидетельствует, что на Ок-1 вода «чистая», на Ок-3 - «очень грязная», а на Ок-5 - «умеренно загрязненная»

Анализ полученных данных показывает, что по большинству индексов вода в р. Охта и ее притоках имеет низкое качество. Для более объективной оценки состояния рек следует проводить комплексный подход и использовать несколько индексов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования была дана физико-географическая характеристика бассейна исследуемого водотока. На территории Ленинградской области и г. Санкт-Петербург р. Охта является одной из наиболее протяжённых, имеет большое количество притоков. Однако, стоит отметить, что характер реки в низовьях сильно отличается от характера реки в верхнем течении.

Река Охта является судоходной и имеет большое культурно-эстетическое значение для города. В летний период это особенно заметно по количеству водного транспорта и парковых зон.

Бассейна реки Охты простирается по умеренному климатическому поясу атлантико-континента. Естественный дренаж на данной территории слабый, а дно реки ровное и состоит в верхней части бассейна в основном из песчаных пород, а в нижней - из суглинистых и глинистых пород.

Гидробиологический мониторинг в настоящее время дополняет гидрохимические исследования, основанные на наблюдении за значениями ПДК (предельно допустимых концентраций) в воде. Биологические показатели зависят от комплекса условий окружающей среды, что позволяет четко определить изменения качества вод.

На сегодняшний момент мониторинг состояния водных экосистем основан на показателях структурно-функциональной организации гидробиоценоза, выражаемой в качественных и количественных показателях. Широко используются индексы сапробности, индексы качества, основанные на присутствии и относительной численности представителей индикаторных групп, например, сообщества макрозообентоса.

Для более полной информации о состоянии водного объекта необходимо расширять методы гидробиологического мониторинга, используемые государственными структурами, которые будут давать более обширную и точную информацию о состоянии гидробиоценозов.

В работе были рассмотрены способы отбора проб макрозообентоса. Выявлено, что для сбора материала на реке Охта и ее притоков целесообразно применять определенные методы и их адаптации из-за характера течения и суглинистого и глинистого дна водотока. При отборе проб был использован метод сбора организмов с суглинистого и глинистого субстрата с использованием рамки площадью 25×25 см.

После рассмотрения методик оценки качества вод по показателям макрозообентоса было обнаружено, что многие из них нуждаются в адаптации, так как разработаны для реки других регионов с другими гидрологическими характеристиками. В исследовании реки Охты и ее притоков были использованы такие биотические метрики, как индекс сапробности по Чертопруду, Вудивисса, BMWP и Гуднайта и Уитли.

В 2022 году на трех исследовательских станциях реки Охта были обнаружены всего 5 видов водных беспозвоночных. Однако стоит отметить, что в этом биотопе отсутствуют бентосные организмы, которые обычно являются индикаторами чистоты воды, такие как веснянки, поденки и ручейники. Тем не менее, обнаруженные организмы водной среды оказались устойчивыми к загрязнению. Особенно замечательно, что малощетинковые черви, или олигохеты, не только способны выживать в условиях загрязнения, но и активно размножаться в почвах, содержащих легкоусвояемые органические вещества.

Полученные результаты индексов свидетельствуют о низком качестве воды и недостаточной сапробности. Например, олигохетный индекс указал на "хорошее" состояние воды на второй исследовательской станции. Однако, более подробный анализ таксономического состава показал, что на этой станции преобладают только олигохеты и хирономиды. Это указывает на то,

что данная оценка является слишком упрощенной и не отражает реальное состояние водной экосистемы. В данной работе было решено использовать несколько индексов вместе, чтобы получить более надежные результаты, так как биоиндикационный анализ иногда может давать неожиданные оценки. Анализ других двух индексов, Вудивисса и BMWP, показал ухудшение качества воды вдоль течения реки. Станция 3 была немного лучше оценена по сравнению с 1 и 2. Ранее исследованиями было отмечено, что по характеристикам зообентоса речную экосистему можно считать деградирующей.

Данные гидрохимического анализа воды, проведенного ранее, показывали значительное превышение ПДК по ряду показателей. Результаты изучения мкрзообентоса наряду с этими данными свидетельствуют о низком качестве воды.

По значениям биотических индексов было установлено, что видовое разнообразие макрозообентоса относительно низкое. Несмотря на это, в составе бентосных сообществ притоков р. Лубья и р. Оккервиль были обнаружены индикаторы чистых вод – представители отрядов Tricoptera (ручейники), Ephemeroptera (поденки), Plecoptera (веснянки), а также другие отряды.

В 2022 году на станциях исследования реки Лубья (Л-1, Л-3, Л-5) и реки Оккервиль (Ок-1, Ок-3, Ок-5) было обнаружено всего 12 таксонов. На всех этих станциях высоко представлены семейства Tubificidae (тубифициды) и Chironomidae (хирономиды), что указывает на низкое разнообразие видов из-за загрязнения водоемов. Однако, некоторые станции все же показали относительно разнообразный состав макробентосных групп.

Оценка качества вод, полученная по индексу BMWPr. Оккервиль на всех трех станциях низкая. Самый низкий показатель был на станции Ок-3, он составил «1» балл, далее Ок-1, который составляет «8» баллов и Ок-5 с показателем «15» баллов. Показатель «чистая» для Ок-1 по олигохетному индексу говорит о не превышении общей численности олигохет в сравнение с

общем количеством других таксонов, обратная ситуация обстоит со станцией Ок-3, где из таксонов представлены только олигохеты, что характеризует ее как «очень грязную». Ок-5 имеет показатель «умеренно загрязненная». По индексу сапробности по Чертопруду станции Ок-1 и Ок-3 имеют значения «умеренно загрязненная», а Ок-5 «загрязненная». По индексу Вудивисса станции Ок-1 и Ок-3 характеризуются как «очень грязная», а Ок-5 «грязная». В зависимости от индекса оценка состояния каждой отдельной станции может быть различна. Для полноты картины нужно учитывать эти показатели в комплексе.

По олигохетному индексу Гуднайта и Уитли вода оценивается как «чистая». Индексы сапробности по Чертопруду и индекс Вудивисса говорят об органическом загрязнении водной среды, а низкое значение BMWP так же указывает на загрязненность станции.

На станции Л-3 по олигохетному индекс Гуднайта и Уитли оценена как «умеренно загрязненная». Индексы сапробности по Чертопруду и Вудивисса говорит об меньшем органическом загрязнении относительно станции Л-1, как и на станции Л-1. Значение BMWP выше, чем на предыдущей станции, но также относится к качеству водоема «низкое».

Отличие станции Л-5 от предыдущий состоит только в индексе Вудивисса, который характеризует воду как «очень грязная».

За 2018 год станция Ок-1 оценивается как «чистая» по олигохетному индексу, в то время как станция Ок-5 классифицируется как «загрязненная». Обе станции имеют низкий показатель индекса BMWP. По индексу Вудивисса, Ок-1 относится к полисапробной зоне, в то время как Ок-5 находится в а-мезосапробной зоне. Оценка сапробности по индексу Чертопруду также указывает на полисапробную зону для Ок-1 и а-мезосапробную зону для Ок-5.

За 2022 год экологическое состояние станций Ок-1 и Ок-5 улучшилось в сравнение с 2018 годом. Причиной этому могла послужить установка очистных сооружений на р. Оккервиль.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов А.С. Общая гидробиология: учебн. для студентов биол. спец. Вузов 4-е изд., перераб. и доп / А.С. Константинов – М.: Высш. шк. – 1986. – 472 с.
2. Информационный сайт о реках России. Режим доступа: <http://vsereki.ru/atlanticheskij-okean/bassejn-baltijskogo-morya/neva/ohta>
3. Оккервиль // Вода России. [Электронный ресурс] - URL: <https://water-ru.ru> (Дата обращения 22.05.2023)
4. Петров, Д. С. Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019-2021 гг / Д. С. Петров,
5. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб.: ГГО, 2010.
6. Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Нева. В 6-х книгах/ Книга 1. Общая характеристика речного бассейна реки Нева. - СПб.: 2010 г. - <http://www.nord-west-water.ru>
7. Александрова В.Д., Грибова С.А., Исаченко Т.И. и др. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л., 1989.
8. Информационный сайт о реках России. Режим доступа: <http://vsereki.ru/atlanticheskij-okean/bassejn-baltijskogo-morya/neva/ohta>
9. Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности от 3 февраля 2021 года № 251-р «Об утверждении методики оценки экологической безопасности Санкт-Петербурга» // Электронный ресурс— URL: <https://docs.cntd.ru/document/573329242>, дата доступа: 10.05.2023.
10. Абакумов В.А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / В.А. Абакумов - Л.: Гидрометеиздат. – 1983. – 320 с.

11.Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В.А. Абакумов - Л.: Гидрометеиздат – 1983. – 240 с.

12.Перцева Е.В. Определитель макрозообентоса пресных водоемов: учебно-методическое пособие / Е.В. Перцева, Г.А. Бурлака. – Самара. – 2012. – 269 с.

13. Захаров В.М. Асимметрия морфологических структур животных как показатель незначительных изменений состояния среды // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Л., Гидрометеиздат. 1981. С. 59-66.41. Кожова О.М. Применение методов экосистемного анализа к оценке качества вод // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., Гидрометеиздат. 1981. С. 16-29.

14. Методы биоиндикации и биотестирования природных вод. Л., Гидрометеиздат. 1989. Вып. 2. 277 с.

15.Зуева Н.В. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений / Н.В. Зуева, Д.К. Алексеев, А.Ю. Куличенко, Е.А. Примак, Ю.А. Зуев, Е.Ю Воякина, А.Б. Степанова. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2019. – 140 с.

16. Лебедева Н.В. География и мониторинг биоразнообразия / Н.В. Лебедева, Д.А. Криволуцкий, Ю.Г. Пузаченко и др. – М.: Издательство Научного и учебно-методического центра. – 2002. – 432 с.

17.Чертопруд М.В. Мониторинг загрязнения водоемов по составу макрозообентоса / М.В. Чертопруд – М.: Ассоциация по химическому образованию. – 1999 – 16 с.

18.Жадин В.И. Методы гидробиологического исследования. М., 1960. 189 с.

19.Брейсуг О.И. Методология и методы оценки состояния водных экосистем / О.И. Брейсуг, Л.М. Предеина //Глобальная ядерная безопасность. – Москва. – 2014. - № 1 (10). – С. 201-205.

20. Винберг Г.Г. Опыт применения разных систем биологической индикации загрязнения вод в СССР // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. Л., 1979. С. 285-292.

21. Буторина Л.Г. *Polyphemus pediculus* (L.) (Cladocera) как возможный индикатор качества воды водоемов // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Л., Гидрометеиздат. 1981. С. 66-70.

22. Голубева Г.В. Использование хирономид в индикации качества воды малых рек Нечерноземной зоны РСФСР // Биоценология рек и озер Волжского бассейна. Ярославль, 1985. С. 34-61.

23. Петухов С.В. Объемный рост организмов как биологический индикатор экологических нарушений // Биологическая индикация в антропоэкологии.: Матер. 2 Всес. совещ. по косм. антропоэкол. Л., 1984. С. 188-191.

24. Очерет Н.П. Биоиндикация качества воды по видовому составу гидробионтов / Н.П. Очерет // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий: конф. – Майкоп: "Магарин Олег Григорьевич" – 2011. – С.168-172.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список таксонов–индикаторов сапробности по М.В. Чертопруду

ТАКСОН	S	J	ТАКСОН	S	J	ТАКСОН	S	J
СТРЕКОЗЫ			РУЧЕЙНИКИ			ВИСЛОКРЫЛКИ		
<i>Calopterygidae</i>	2,5	2,0	<i>Rhyacophilidae</i>	1,0	4,0	<i>Sialidae</i>	2,0	1,0
<i>Plathycnemididae</i>	3,0	2,0	<i>Hydropsychidae</i>	2,0	1,0	РАКООБРАЗНЫЕ		
<i>Coenagrionidae</i>	3,5	1,0	<i>Arctopsychidae</i>	1,0	3,0	<i>Asellidae</i>	3,0	2,0
<i>Lestidae</i>	3,0	3,0	<i>Polycentropodidae</i>	1,5	2,0	<i>Gammaridae</i>	2,5	2,0
<i>Aeschnidae</i>	3,0	3,0	<i>Psychomyidae</i>	2,0	3,0	<i>Astacidae</i>	2,0	2,0
<i>Corduliidae</i>	2,0	2,0	<i>Hydroptilidae</i>	2,0	2,0	БРЮХОНОГИЕ		
<i>Libellulidae</i>	3,0	3,0	<i>Glossosomatidae</i>	0,5	4,0	<i>Ancylidae</i>	1,5	2,0
<i>Gomphidae</i>	2,0	3,0	<i>Sericostomatidae</i>	1,5	2,0	<i>Acroloxidae</i>	2,5	1,0
<i>Cordulegasteridae</i>	1,5	3,0	<i>Beraeidae</i>	2,0	2,0	<i>Lymnaeidae</i>	2,5	1,0
ПОДЕНКИ			<i>Leptoceridae</i>	2,5	2,0	<i>Bulinidae</i>	2,5	1,0
<i>Ephemeridae</i>	1,5	2,0	<i>Brachycentridae</i>	2,0	2,0	<i>Physidae</i>	3,0	1,0
<i>Polymitarcyidae</i>	2,0	2,0	<i>Lepidostomatidae</i>	1,5	2,0	<i>Planorbidae</i>	3,0	1,0
<i>Potamanthidae</i>	2,0	3,0	<i>Molannidae</i>	2,0	2,0	<i>Viviparidae</i>	2,5	1,0
<i>Heptageniidae</i>	2,0	1,0	<i>Phryganeidae</i>	2,5	2,0	<i>Bithyniidae</i>	2,5	2,0
<i>Baetidae</i>	2,0	1,0	<i>Goeridae</i>	1,0	4,0	<i>Valvatidae</i>	3,0	1,0
<i>Siphonuridae</i>	2,5	2,0	<i>Apataniidae</i>	0,5	4,0	<i>Neritidae</i>	2,0	2,0
<i>Metretopodidae</i>	1,0	2,0	<i>Limnephilidae</i>	2,0	1,0	<i>Lithoglyphidae</i>	2,5	1,0
<i>Ameletidae</i>	0,5	4,0	ЖУКИ			ДВУСТВОРЧАТЫЕ		
<i>Leptophlebiidae</i>	1,5	1,0	<i>Gyrinidae</i>	2,5	1,0	<i>Unionidae</i>	2,5	1,0
<i>Ephemerellidae</i>	2,0	3,0	<i>Dytiscidae</i>	2,5	1,0	<i>Dreissenidae</i>	2,5	1,0
<i>Caenidae</i>	2,5	3,0	<i>Haliplidae</i>	2,5	1,0	<i>Sphaeriidae</i>	2,5	1,0
ВЕСНЯНКИ			<i>Noteridae</i>	2,5	1,0	<i>Pisidiidae</i>	2,0	1,0
<i>Perlodidae</i>	1,0	4,0	<i>Helophoridae</i>	3,0	1,0	<i>Euglesidae</i>	2,5	1,0
<i>Chloroperlidae</i>	1,0	3,0	<i>Hydrophilidae</i>	3,0	1,0	ПИЯВКИ		
<i>Taeniopterigidae</i>	1,5	3,0	<i>Hydrochidae</i>	3,0	1,0	<i>Hirudinidae</i>	3,0	2,0
<i>Nemouridae</i>	2,0	1,0	<i>Hydraenidae</i>	2,0	1,0	<i>Erpobdellidae</i>	3,0	2,0
<i>Leuctridae</i>	1,0	3,0	<i>Elmidae</i>	1,5	2,0	<i>Glossiphoniidae</i>	2,5	2,0
<i>Capniidae</i>	1,0	3,0	<i>Dryopidae</i>	2,5	1,0	<i>Piscicolidae</i>	2,5	2,0
КЛОПЫ			<i>Chrysomelidae</i>	3,0	1,0	ОЛИГОХЕТЫ		
<i>Nepidae</i>	2,5	2,0	<i>Elodidae</i>	2,0	1,0	<i>Naididae</i>	2,5	2,0
<i>Notonectidae</i>	3,0	2,0	ДВУКРЫЛЫЕ			<i>Tubificidae</i>	4,0	2,0
<i>Naucoridae</i>	3,0	3,0	<i>Simuliidae</i>	2,0	1,0			
<i>Aphelocheiridae</i>	2,0	4,0	<i>Muscidae</i>	3,0	2,0			
<i>Pleidae</i>	2,5	3,0	<i>Athericidae</i>	2,0	3,0			
<i>Corixidae</i>	2,5	1,0						