МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Удмуртский государственный университет»
Институт естественных наук
Кафедра ботаники, зоологии и биоэкологии
Направление подготовки 06.03.01-Биология
Профиль – Зоология

Допущен к защите

«__»_____2026 г.

Зав.кафедрой

_____

доктор биологических наук

Н. И. Науменко

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА на тему:

«*Биоиндикация загрязнения реки Вожойка (приток р. Позимь) по организмам макрозообентоса*»

Выполнил студент

группы ОАБ-06.03.01-41 _____ Т. В. Торхов

(подпись)

Научный руководитель

кандидат биологических наук _____ Н. В. Холмогорова

(подпись)

Ижевск, 2026

ВКР УдГУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….....4
Глава 1. Обзор литературы…….6
1.1. Абиотические факторы речных систем……..6
1.2. Макрозообентос малых рек……..……10
1.3. Антропогенное воздействие на малые реки…..……14
1.3.1. Строительство плотин ……14
1.3.2. Эвтрофикация…….15
1.3.3. Токсическая нагрузка…….17
Глава 2. Физико-географический обзор……..19
2.1. Удмуртская республика……...19
2.2. Характеристика реки Вожойка……..……21
2.3. Характеристика станций отбора проб……..22
Глава 3. Методика и материалы……...27
3.1. Методика отбора проб…….27
3.2. Определение сопутствующих гидрологических характеристик….28
3.3. Методы биоиндикации……..……..28
Глава 4. Результаты исследования и их обсуждение…….32
4.1. Гидрологические характеристики реки……..32
4.2.1. Характеристика видового состава……..37
4.2.2. Характеристика видового состава макрозообентоса на биотопах с разным типом грунта……39
4.3. Количественные показатели макрозообентоса……..42
4.4. Сезонная динамика показателей макрозообентоса……44
4.4.1. Динамика видового богатства макрозообентоса……44
4.4.2. Динамика численности макрозообентоса……..……45
4.4.3. Динамика биомассы макрозообентоса……...47
4.5. Межгодовая динамика показателей макрозообентоса……...48
4.5.1 Динамика видового богатства макрозообентоса……48
4.5.2. Динамика численности макрозообентоса…….…..49

ВКР УдГУ

4.5.3. Динамика биомассы макрозообентоса……50
4.5. Биоиндикация загрязнения реки Вожойка……51
Выводы……66
Список литературы……67
Приложение……72

ВКР УдГУ

Введение

Ручьи и малые реки составляют значительную часть гидросферы Удмуртии – Родникового края. Практически рядом с каждой рекой расположены деревни, сёла, починки и другие населённые пункты. Во многих из них на реке сооружают плотину, создавая пруд. Пруды в деревнях используют в целях пожарной безопасности, а также для купания, ловли рыбы, стирки одежды и других целей.

Экологическое состояние рек, протекающих через деревни, посёлки, города и т.д. очень важно для людей, проживающих в этих населённых пунктах, так как местные жители часто используют речную воду в своей хозяйственной деятельности. Экологический мониторинг рек необходим для определения пригодности воды для человеческих нужд.

Для реализации целей экологического мониторинга служит гидробиология. Это раздел биологии, изучающий жизнь водных организмов и их сообществ в экосистемах водоёмов. Экологическая составляющая гидробиологии заключается в определении физико-географических особенностей водоёма, которые тесно взаимосвязаны с живым населением воды. Экологическое состояние малых рек может особенно сильно изменится под антропогенной нагрузкой.

Живое население гидросферы в свою очередь формирует разнообразные экосистемы в разных участках водоёмов, устройство и состав которых напрямую зависит от факторов среды обитания: состава грунта, скорости течения, содержания кислорода и т.д. Поэтому степень загрязнённости водоёмов можно определить по структуре экосистем на каждом участке, т.к. состав живого населения на чистых и загрязнённых территориях отличается в связи с разной адаптацией гидробионтов к разным условиям среды.

Целью данной работы было определение видового состава макрозообентоса р. Вожойка и провести биоиндикацию на основе полученных данных. Для биоиндикации использовались индексы Гуднайта и Уитлея,

ВКР УдГУ

Бергера-Паркера, Шеннона, биотический индекс Вудивисса и индекс сапробности Пантле-Букка. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Описать видовой состав макрозообентоса р. Вожойка;

2. Оценить количественные показатели организмов макрозообентоса;

3. Определить сезонную и межгодовую динамику количественных показателей макрозообентоса;

4. Провести оценку качества вод реки по данным биоиндикации.

Выражаю благодарность доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории экологии водных беспозвоночных Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук Ларисе Владимировне Головатюк за определение личинок хирономид.

ВКР УДГУ

Глава 1. Обзор литературы

1.1 Абиотические факторы речных систем

«Текучие воды», также называемые лотическими, включают в себя временные русловые и нерусловые потоки, отличающиеся наличием или отсутствием возможности формировать русло по мере движения по склону, и постоянные русловые потоки. Ручьи и реки представляют собой постоянные русловые потоки, имеющие постоянный расход воды в течение года (Макаревич, 2019). Они характеризуются относительно быстрым (по сравнению со стоячими водоёмами) и направленным течением, более изменчивым уровнем воды и изменением абиотических условий от истока к устью. При этом вертикальный градиент – изменение условий существования гидробионтов при увеличении глубины (от поверхности воды до дна) – в реках практически не выражен. Территория, с которой все воды – как поверхностные, так и грунтовые – стекают в конкретный водоём или водоток, называется водосборный бассейн. Воздействие водосборного бассейна на условия существования гидробионтов в реках более выражено, чем в стоячих водоёмах (Зилов, 2009).

Реки могут брать начало из ключей, ручьёв, озера, болота или места слияния двух рек или ручьёв. Место начала реки называют истоком, а место её впадения в другую реку, море или стоячий водоём – устьем. По мере движения воды в постоянном русловом потоке формируется речная долина, состоящая из коренного берега, надпойменных террас, поймы (часть реки, затапливаемая во время половодий) и русла (Макаревич, 2019). Речной поток всегда составляет единую систему с руслом единую систему, в которой осуществляется взаимодействие между речным потоком, находящимся в постоянном движении, и грунтами, слагающими ложе рек и неподвижными без внешнего воздействия (Чалов, 2016). Сами донные грунты равнинных рек представляют собой преимущественно рыхлые осадочные отложения, приуроченные к определённым участкам биосферы. Эти отложения, также

ВКР УлГУ

называемые аллювием, состоят из продуктов выветривания, сносимых в реки и накапливающихся на дне, и из осадочного материала, образующегося за счёт разрушения горных пород водным потоком. Аллювий слагает как само русло реки, так и её пойменную часть и террасы. Осадочный материал, способный перемещаться вместе с потоком воды, называется речными наносами. Взвешенные наносы движутся в толще речного потока, формируя речную взвесь. Влекомые наносы перемещаются только в придонном слое речного потока. Аллювиальные отложения и речные наносы взаимодействуют между собой, что сопровождается обменом веществом: частицы наносов осаждаются, а осадочный материал переходит во взвешенное или влекомое состояние (Янин, 2018).

Алевритовые и глинистые отложения, входящие в состав аллювия наряду с песком, в большем количестве оседают на участках со сниженной скоростью течения: заводи, затоны, глубокие плесы, рукава. Эти отложения формируют речные илы. Процесс илообразования включает в себя разложение органики и окислительно-восстановительные реакции. В зависимости от химических особенностей формирования выделяют окислительные, глеевые и сероводородные илы. Для водоёмов Удмуртии характерны первые два типа. Окислительные илы формируются в богатых кислородом водах при наличии течений. Глеевые илы образовываются в водоёмах с большим поступлением органики и низким содержанием сульфатов, а также характеризуются медленным разложением органических веществ в связи с низким содержанием кислорода. Концентрация органических веществ в илах составляет 9-30%. Минеральная составляющая илов в основном включает в себя глинозём, гидроксиды Fe и Mn, серу, фосфор, некоторые микроэлементы (Янин, 2018).

Тип донного грунта определяет видовой состав бентоса, поскольку некоторые донные гидробионты требовательны к определённому типу субстрата (стеноэдафические виды). Наиболее значимые для гидробионтов

ВКР УдГУ

характеристики речных грунтов – это гранулометрический состав, степень уплотнения, стабильность, содержание органических веществ и их состав.

По гранулометрическому составу грунты делятся на мелкозернистые (мягкие) и жёсткие. К мелкозернистым относятся грунты с преобладающим размером частиц 0,1-1 мм (пески), 0,01-0,1 мм (илы), менее 0,01 мм (глины). Среди жёстких грунтов выделяют следующие группы по размеру частиц 0,1-1 см (гравий), 1-10 см (галька), 10-100 см (валуны), более 100 см (глыбы). В зависимости от процентного соотношения частиц разных фракций грунты дополнительно разделяют на подгруппы (илистый песок, глинистый ил и т.д.).

Степень уплотнения донных грунтов определяет возможность донных гидробионтов передвигаться в данной среде. Чем грунт плотнее, тем меньше глубина, на которую закапываются гидробионты.

Стабильность грунтов определяется тем, насколько для донных отложений характерны снос поверхностных слоёв с токами воды, быстрое оседание взвешенных частиц и взаимное перемещение частиц, слагающих эти отложения.

Состав органики донных грунтов определяется соотношением разных органических соединений, часть из которых обладают высокой питательной ценностью для гидробионтов (в основном это органическое вещество на ранних стадиях разложения), а другие практически не усваиваются (гуминовые кислоты, хитин, целлюлоза).

Течения. Являются ключевым элементом гидродинамики. В реках они вызываются движением воды под действием гравитации (связано с наклоном русла) и градиентом плотности вод (зависит от степени нагретости в разных участках). Также, траектория течений зависит от очертания берегов, рельефа дна, глубины и сил инерции (Константинов, 1972). Величина скорости течения сильно влияет на жизнедеятельность гидробионтов, играя главную роль в переносе взвешенных (к примеру, ил и мелкий песок) и влекомых

ВКР УлГУ

(крупный песок, галька) наносов, что прямо сказывается на форме русла и распределении наносов (Богатов, 2017).

Текучая вода осложняет жизнедеятельность неприспособленных организмов, оказывая сильное механическое воздействие, но при этом обеспечивает постоянный приток пищи и кислорода и отток гниющих остатков (Жадин, 1961).

Температура. Экологическое значение температуры воды заключается в разнообразии термических условий существования гидробионтов и их высокой чувствительностью к изменению этих условий. Температура водоёма или водотока напрямую связана с особенностями географического расположения, временем суток, сезоном года. Как экологический фактор, температура оказывает влияние на географическое распространение и пространственное распределение водных организмов, так как в пределах одного водоёма или его участка существуют температурные градиенты, выраженные во всех направлениях и связанные с перепадами глубины, течениями, наличием ключей и т.д. Также, температура сильно влияет на скорость протекания метаболических процессов у гидробионтов в связи с их пойкилотермностью (Константинов, 1972).

Свет. Фактор внешней среды, действующий регулярно, но с разной интенсивностью. Наибольшее значение имеет для фотосинтезирующих организмов, выступая как энергетический фактор, а определяет сезонные ритмы животных, ориентации организмов в пространстве и направление движения. Положительный фототаксис наиболее характерен для планктонных организмов, отрицательный – для большинства бентосных организмов. Степень освещённости зависит от глубины, прозрачности воды и степени отражения солнечной радиации, которая в свою очередь зависит от угла падения солнечных лучей и гладкости водной поверхности (наличия или отсутствия волнения) (Семерной, 2008).

Минерализация - это степень концентрации химически растворенных веществ (Богатов, 2017). В пресных водах самым распространённым ионом

ВКР УлГУ

щелочных металлов является ион кальция, поступающий из известняков и гипсов. Наличие ионов кальция лимитирует количество сульфатного иона в пресных водах, образуя малорастворимое соединение. Ион магния в пресных водах находится в меньшем количестве, чем ион кальция, за исключением сильно минерализованных вод. Также в небольшом количестве в реках присутствует железо, кремний, медь, марганец, цинк и другие ионы. Ионы многих металлов являются микро- и макроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности гидробионтов. К примеру, железо играет большую роль в жизни водорослей, а кремний необходим для микроорганизмов, имеющих панцирь (диатомовые и золотистые водоросли) (Жадин, 1961).

Сукцессионные изменения почвы и растительности в пойменной части могут происходить из-за активной строительной деятельности бобра (*Castor fiber*) на малых реках. Обычно бобры строят плотины непрерывными каскадами в верхнем течении рек. Это приводит к формированию системы малопроточных прудов, а также может влиять на форму речного русла, поскольку поступление воды в русло непосредственно ниже плотины останавливается, и вода из сформированных прудов начинает течь по расчищенным бобрами каналам. Состав грунтов в сформированных бобрами прудах меняется: в них можно выделить эрозионные и осадконакопительные участки. Органическое вещество аккумулируется в таких прудах в больших количествах, поскольку плотины препятствуют его выносу из бассейна. Со временем, поступающее аллохтонное органическое вещество в условиях замедленного течения приводит к дефициту кислорода в бобровых прудах. Структурные и функциональные показатели модифицированных бобрами участков водотоков могут сильно различаться в зависимости от их расположения и возраста (Крылов, 2005).

1.2. Макрозообентос малых рек

В связи с неоднородностью экологических условий в реках видовое разнообразие крайне велико. Наиболее распространён в реках планктон,

ВКР УлГУ

нектон и бентос, слабее выражен перифитон, а плейстон и нейстон практически отсутствует из-за постоянного движения воды.

Бентос водотоков представляет собой совокупность донных организмов, среди которых значительную часть занимают реофилы (морфологически и физиологически адаптированные к течению формы) (Жадин, 1950). Представителей макрозообентоса также иногда классифицируют по образу жизни: сессильные (сидячие или прикреплённые формы), закапывающиеся (инфауна), лежачие (седентарные), двигающиеся (вагильные), некто-бентические и пелагобентические формы. К последним двум формам относятся организмы, способные активно передвигаться как по грунту, так и в толще воды – водные жуки (семейства *Dytiscidae*, *Hydrophilidae*, *Gyrinidae*), водные клопы, личинки комаров семейства *Chaoboridae* (Гольд, 2013). Реофильный макрозообентос в основном доминирует над фитобентосом, который может быть обильным только в реках с прозрачной водой.

В зависимости от состава речного грунта биоценозы речного дна делятся на несколько основных типов. Литореофильные биоценозы слагаются из организмов, приспособленных к обитанию на твёрдом субстрате в условиях течения. Представители данных биоценозов приспособлены к условиям хорошего кислородного режима, ухудшение которого может приводить гибели отдельных организмов или всего биоценоза в целом (Жадин, 1950). Литореофилами в реках России являются многие водоросли, мох Fontinalis. Среди животных часто встречаются губки, гидры, мшанки, ресничные черви, некоторые олигохеты (*Nais behningi*, *N. bretsceri*), пиявки, личинки ручейников (*Trichoptera*), мошек (*Simuliidae*), подёнок (*Ephemeroptera*), веснянок (*Plecoptera*), комаров-звонцов (*Chironomdae*) и других насекомых, водяные клещи, моллюски *Dreissena polymorpha* (Константинов, 1972; Жадин, 1950). Чертами приспособления животных-литореофилов к условиям обитания являются наличие всевозможных приспособлений для прикрепления и удержания на твёрдом

ВКР УлГУ

субстрате (крючья, присоски, тяжёлые домики и т.д.) и уплощённые тело и голова для передвижения в положении плотного прижатия к камням (Жадин, 1950).

Псаммореофильные биоценозы характерны для речных песков с различным гранулометрическим составом. Самым благоприятным для бентоса является песок с диаметром песчинок 0,25 – 1 мм. Данный биоценоз слагается из мелких, реже среднего размера организмов – бактерий, водорослей, простейших, коловраток, нематод, олигохет (часть которых является микроскопическими), личинок хирономид, лимониид и типулид, высших ракообразных, некоторых моллюсков. Чертами приспособления псаммореофилов к жизни в песке являются клейкие органы и клетки, приклеивание кладок яиц к песчинкам, прочные наружные покровы и способность быстро зарыться в грунт (Константинов, 1972; Жадин, 1950).

Аргиллореофильные биоценозы складываются на глинистых участках речного дна. Наиболее характерные обитатели данных биоценозов – роющие подёнки, личинки некоторых хирономид, личинки ручейников гидропсих и мошек, некоторые мшанки, моллюски и водные клопы, характерные также для литореофильных биоценозов. Часть обитателей глинистого дна роют ходы, часть поселяются на поверхности глины (Жадин, 1950).

Пелореофильные биоценозы представляют собой комплекс организмов всех категорий, обитающих в иле. Особенно широко распространён в равнинных реках, где развивается в разных зонах речного дна. В данном биоценозе сохраняются относительно благоприятный кислородный режим и поступление пищи с потоком воды. К пелореофилам относятся многочисленные бактерии, простейшие, коловратки, ветвистоусые рачки и некоторые другие представители микрофауны. К макрозообентосу пелофильных биоценозов относятся водные клопы, олигохеты, нематоды, личинки стрекоз (особенно рода *Gomphus*), клещи рода *Lebertia*, двустворчатые и брюхоногие моллюски, личинки двукрылых.

ВКР УлГУ

Фитореофильные биоценозы развиваются на растениях. В отличие от неорганического субстрата, растительный субстрат представляет собой не только опору, но и пищевой материал для некоторых животных. Также в заросших водоёмах снижена скорость течения, что также обуславливает особенности среды. Из макрозообентоса фитореофильных биоценозов можно выделить клещей, личинок подёнок рода Baetis, личинки других насекомых, прикрепляющиеся к субстрату моллюски. Многие обитатели пелореофильных биоценозов имеют малые размеры тела (Жадин, 1950).

Если водоток перекрывается бобровыми плотинами, гидротехническими сооружениями или течение сильно замедляется в связи с географическими особенностями, водное население претерпевает некоторые изменения: уменьшается численность реофильных группировок организмов (лотические таксоны заменяются лентическими), видовой состав гидробионтов становится более однообразным и при этом более богатым по численности и биомассе, среди гидробионтов преобладают эврибионтные формы (Константинов, 1972). В трофической структуре таких водоёмов наибольшее значение приобретают организмы, потребляющие тонкий детрит – фильтраторы, фильтраторы-собиратели, глотатели. Если пруд не является спускным, в большом количестве развивается фитобентос, представленный макрофитами и формирующий среду обитания для фитофильных перифитонных организмов. Макрозообентос представлен в основном олигохетами из семейства Tubifecidae, личинками хирономид (основные рода – *Chironomus* и *Glyptotendipes*), стрекоз, имаго и личинками жуков-плавунцов (род *Dytiscus*).

В фауне модифицированных бобрами водоёмов чаще всего могут доминировать виды хирономид *Procladius sp*. и *Tanytarsus gregarius*, вислокрылки *Sialis sp*., моллюски Euglesa sp. и олигохеты *Tubifex tubifex* и *Potamotrix hammoniensis*, а также часто встречается ручейник *Phryganea bipunctata*. Большинство донных организмов запруженных водоёмов обитают в поверхностном слое грунта толщиной 10-20 см. Количественное и

ВКР УлГУ

видовое распределение зообентоса по ложу водоёма равномерно (Константинов, 1972; Крылов, 2005).

Сообщества перифитона представляют собой пространственно сложную структуру сочетания прикрепленных и подвижных форм, которые выполняют специфические для них функции. Прикреплённые формы организмов в перифитоне являются фоновыми и в основном преобладают по численности и биомассе. При этом в пресных водоёмах наибольшим видовым разнообразием характеризуются подвижные формы. В зависимости от степени освещённости, сообщества перифитона формируются по трём основным типам соотношения автотрофных и гетеротрофных компонентов: перифитон чисто животного характера, животно-растительного характера (первые преобладают), растительно-животного характера (преобладают растения). В реках типичными представителями сообществ двух последних типов являются личинки хирономид и симулиид, а также пресноводные губки и мшанки (Константинов, 1972). На видовой состав и доминирование тех или иных видов в составе перифитона влияет также количество взвесей, присутствие органических загрязнителей и т. д. К примеру, для наиболее загрязнённых участков волжских водохранилищ было характерно доминирование нематод в перифитонных сообществах (Протасов, 2010).

Продукция перифитона, развивающегося на древесном материале, накапливаемом при строительстве плотин бобрами, значительно выше, чем у обитающих в донных отложениях беспозвоночных.

1.3Антропогенное воздействие на реки

1.3.1 Строительство плотин и забор воды на орошение

Оросительные и осушительные мелиорации, урбанизация и создание прудов также вызывают нарушения естественных условий формирования стока на речных водосборах, что может приводить к безвозвратным потерям воды в стоке малых рек. Забор воды на орошение значительно уменьшает меженный сток малых рек. В засушливые годы вода из некоторых рек

ВКР УлГУ

разбирается полностью. Урбанизация приречных территорий может приводить к препятствованию или способствованию выпадению осадков, инфильтрации, испарению и быстрому стоку дождевых и талых вод (Водогрецкий, 1990 Ткачев, 2002). Гидростроительство, необходимое для орошения земель, получения энергии и других целей, имеет ряд негативных последствий для экологического состояния рек – зарегулирование, переброска части стока, русловые деформации и др. (Константинов, Барышников). На данный момент широкое распространение имеют глухие земляные плотины прудов, полностью блокирующие сток. Другой распространённый вид плотин, на которых пропуск воды осуществляется в зависимости от ее поступления в водохранилища, сооружается на прудах-водоисточниках и прудах-охладителях, но специального регулирования стока на таких плотинах нет. При этом искусственные водоёмы, строящиеся на реках с очень низким стоком или на пересыхающих реках, способны повышать сток в летний период (Ткачев, 2002).

Также регулирование водотока низконапорными плотинами на малых реках могут также оказывать и положительное влияние, так как малые водотоки сильнее подвержены ущербу от хозяйственной деятельности человека и имеют меньшую способность к самоочищению. При сооружении таких плотин потери земли, вызванные затоплением участков долин малых рек, значительно меньше, чем при сооружении водохранилищ на крупных реках, и ущерб земельным ресурсам наносится несущественный, сохраняется качество окружающей среды, риск негативных экологических последствий минимален. Правильное строительство плотин может поддерживать уровень воды в реке в период межени (Кумзеров, 2010)

1.3.2 Антропогенная эвтрофикация

Антропогенная эвтрофикация – повышение трофии водоёмов в результате избыточного поступления в них азота и фосфора, связанное с деятельностью человека. К последствиям эвтрофикации относится ухудшение кислородного режима, возникновение и усиление контрастности

ВКР УлГУ

послойного распределения биохимических процессов с обособлением верхней трофогенной области и глубинной трофолитической. В результате антропогенной эвтрофикации повышается скорость новообразования органического вещества, продукция преобладает над деструкцией, что ведёт к увеличению биомассы экосистемы (Константинов, 1972).

Наиболее существенное антропогенное преобразование испытывают малые реки, нередко принимающие основные объёмы сточных вод, в том числе и канализационных. В малых реках, протекающих через промышленные и жилые зоны, происходит коренное преобразование гидрохимического режима. Процесс эвтрофикации наблюдается повсеместно во многих регионах Российской Федерации, к примеру, в Воронежской области. Помимо загрязнения органическими веществами, увеличивается и минерализация воды, изменяется соотношение главных ионов (Прожорина, 2018).

Вызывать эвтрофикацию также может поступление азота, фосфора и других элементов в воду виде удобрений, моющих веществ, отходов животноводства, атмосферных аэрозолей и т.д. с талыми и дождевыми водами с водосборной территории реки. Также на эвтрофикацию влияет размыв почв и эрозия, усиливаемые распашкой склонов. При этом срок протекания антропогенной эвтрофикации значительно меньше, чем у естественной эвтрофикации (Калинин, 1998).

ВКР ВГУ

1.3.3. Токсическая нагрузка

Нефтедобыча и нефтепереработка, сельское хозяйство, химическая промышленность и т. д. являются источником токсической нагрузки на малые реки. Токсиканты из промышленных зон находящихся рядом с реками предприятий также могут вноситься в водотоки с талыми и дождевыми водами. В основном загрязняющие вещества, источником которой являются разные отрасли промышленности, представлены тяжёлыми металлами и нефтеродуктами. При этом очистка сточных вод с предприятий не всегда достаточно эффективна, чтобы обезопасить реки от токсического воздействия. Проблема воздействия данных загрязнителей на реки остро стоит как в соседних регионах (Республика Башкортостан, Республика Татарстан), так и в самой Удмуртии (Леонтьева и др., 2017; Клевлеева и др., 2013).

Также загрязнители могут поступать в реки с результате смыва с поверхности водоразделов и с территорий крупных городов с ливневым стоком. Это особенно актуально для тех водотоков, русла которых расположены в черте города. Бытовой и промышленный мусор, часто поступающий в реки аналогичным способом, может разлагаться с образованием токсичных веществ. Это также является причиной того, что повышенная токсичность воды отмечается в рекреационных зонах, так как отдыхающие люди обуславливают поступление бытового мусора в реки. Это вместе с поступлением загрязнителей от других источников ведёт к деградации речных экосистем, массовой гибели гидробионтов и непригодности малых рек для всех видов водопользования (Бакаева, Игнатова, 2014).

Значительное влияние на малые реки оказывает и сельское хозяйство. Сельскохозяйственные комплексы могут служить источником поступления в реки животноводческих отходов, с ливневыми и коллекторно-дренажными водами в реки также вносятся минеральные удобрения и пестициды. Сток ядохимикатов, синтетических поверхностно-активных веществ и удобрений

ВКР УдГУ

(загрязнение удобрениями может приводить к превышению в воде концентрации азота и/или фосфора) с сельскохозяйственных регионов приводит к практически равномерному загрязнению всей территории (Цгоев, Амбалов, 2020; Воронина и др., 2019).

ВКР УдГУ

Глава 2. Физико-географический обзор

2.1. Удмуртская республика

Площадь Удмуртии составляет 42,1 тыс км^2. Столицей республики является г. Ижевск. Протяжённость территории с севера на юг составляет 297,5 км., с запада на восток – 200 км.

Территория Удмуртии расположена в восточной части Русской равнины, в среднем Предуралье, состоит и з ряда возвышенностей и низменностей. Крупнейшая из них – Верхнекамская возвышенность – разделена на 3 части. Северная, занимающая правобережье реки Чепца; Тыловайская и Красногорская возвышенности в левобережной части Чепцы.

Наивысшая точка Удмуртской республики расположена в истоках реки Пызеп., в 10 км. к северу от села Карсовай. Наименьшие отметки рельефа республики приурочены к руслу реки Вятка и составляет 53.7 м. Средняя глубина эрозионного расчленения Верхнекамской, Сарапульской, Можгиноской возвышенностей и Кильмезской низменности составляет 84, 105, 92 и 67 м соответственно.

Морфология рельефа междуречных пространств определяется его ярусным ступенчатым строением. Это отражает крупные циклы эрозионного расчленения и денудационного выравнивания рельефа в ходе геологической истории.

Территория Удмуртии густо расчленена речными долинами. К долинам крупных рек древнего заложения относятся долины Камы и Вятки. Долины средних рек (Иж, Чепца, Вала, Сива) имеют комплекс плейстоценовых террас, эрозионные вырезы выражены слабо. В долинах малых рек высокие террасы не прослеживаются. Общая черта строения речных долин – асимметрия их склонов.

Климат Удмуртии умеренно континентальный с продолжительной холодной и многоснежной зимой, тёплым летом и хорошо выраженными переходными сезонами. Среднегодовая температура воздуха в Удмуртии положительная. В середине лета температура меняется в пределах

ВКР УдГУ

+18…+19°С. Абсолютный максимум температуры воздуха на севере республики 37 °С, на юге – 38 °С. Самый холодный месяц – январь. Среднемесячная температура на северо-востоке -14,9 °С, на юге – -13,8 °С. Морозы в январе могут достигать - -35…-40 °С и ниже.

На термический режим влияет рельеф и растительность. На возвышенных участках суточные амплитуды температуры воздуха меньше, чем в понижениях рельефа. На вершинах холмов заморозки весной прекращаются раньше, осенью наступают позднее, чем в широких долинах, примерно на 10 суток. На полях и других открытых пространствах летом температура воздуха выше, чем в лесу.

Увлажнение территории республики происходит в основном за счёт циклонов, несущих влажный воздух с Атлантики. Осадков выпадает на большей части территории в среднем за год 500 – 600 мм. Летние дожди часто выпадают в виде кратковременных интенсивных ливней с грозами и количеством осадков до 30 мм. В мае – сентябре возможно выпадение града. Первый снег выпадает в октябре, иногда в конце сентября. Устойчивый снежный покров образуется в конце первой или начале второй декады ноября.

Поверхностные воды Удмуртской республики представлены реками, прудами, водохранилищами, озёрами и болотами. Реки относятся к камскому и вятскому речным бассейнам. На территории республики более 7000 водотоков имеют длину менее 10 км. Суммарная протяжённость самых малых рек превышает 19 тыс км. Малых рек (длина от 10 до 100 км) насчитывается 368, их общая длина превышает 8 тыс. км. Средних и крупных рек 17, их суммарная протяжённость в пределах республики 2186 км.

По данным за 2003 год, большая часть водных объектов Удмуртии характеризуются как загрязнённые. Доминирующие загрязняющие вещества – ионы меди (превышение ПДК в 5 – 9 раз), фенолы и нефтепродукты (превышение ПДК в 2 – 5 раз), а также железо, цинк и азот.

ВКР УдГУ

Почвы. В Удмуртской республике действуют 3 почвообразовательных процесса – дерновый, подзолистый и болотный. Наиболее распространённым процессом является подзолистый. В Удмуртии преобладают дерново-подзолистые почвы. Подзолистые, дерново-карбонатные, болотные, пойменные и дерново-глеевые распространены меньше. Дерново-подзолистые почвы делятся на слабоподзолистые, среднеподзолистые, сильноподзолистые и глубокоподзолистые. Все виды распространены на территории республики.

Растительность. Удмуртская республика относится к Евроазиатской таёжной области. Северная часть республики входит в подзону южной тайги, южная – в подзону широколиственно-хвойных лесов.

Основным типом растительности в Удмуртии являются леса, площадь которых составляет 46,4 % по данным на 2005 год. Луга и посевы сельскохозяйственных растений занимают находившиеся ранее под лесами площади и составляют соответственно 10,6% и 33,2% от общей площади. Болота составляют около 3% территории республики.

На территории Удмуртии существуют 5 геоботанических регионов. В северо-западном господствуют еловые и елово-пихтовые леса. В северо-восточном к ним добавляются элементу сибирской флоры. Для центрально-западного характерны сосновые леса. Центральный район характеризуется широким участием в древостое липы, дуба и других широколиственных пород. В юго-восточном районе присутствуют явления остепнения (Удмуртская Республика, 2008).

2.2. Характеристика реки Вожойка

Река Вожойка протекает по территории Воткинского и Завьяловского районов, а также городского округа Ижевска. Длина реки составляет 23 километра, максимальная ширина отмечалась на территории торфяника и составляла 6 метров. Вожойка является правым притоком Позими, относящейся к бассейну Камы.

ВКР УдГУ

Река берёт начало из нескольких ручьёв, сливающихся в единый поток в 2-х км. западнее СНТ «Нефтяник». 2 ручья берут начало в СНТ, остальные полностью протекают в лесу.

Верхнее течение реки находится в лесах. Часть поймы заболочена. Ближе к дороге, ведущей в деревню Сокол, расположен активно разрабатываемый торфяник. В данном месте на реке сооружены небольшие каналы.

Река протекает через деревни Русский Вожой, Новые Марасаны и Нижний Вожой, починок «Разъезд 13 УЖД», а также рядом с окраиной Устиновского района Ижевска (посёлок Смирново). В Русском Вожое сооружён пруд, используемый в хозяйственных нуждах жителей деревни, в том числе для купания и рыбалки.

По данным исследований общей минерализации реки от 2020 года, показатель общей минерализации воды увеличивался от истока к устью в связи с увеличением антропогенной нагрузки, в том числе и с увеличением объёмов выноса загрязнённых стоков, попадающих в реку с промышленных предприятий через притоки Вожойки – Тонковку и Старковку. При этом, показатель общей минерализации не превышал 1 г/л (Фассахов, 2020).

2.3. Характеристика станций отбора проб

Станция № 1а – исток реки (ручей). Участок ручья (в июле 2024 года), находящийся в 350 м. ниже по течению от искусственного водоёма в СНТ «Нефтяник». Пруд, из которого ручей вытекает, был сооружён на истоке ручья и используется с целью купания и рыболовства. Станция отбора проб находится на умеренно освещённом участке смешенного леса (полуоткрытая экспозиция). Ширина ручья около 1 м., максимальная глубина – 20 см. В составе донного грунта участка ручья преобладал песок. Скорость течения умеренная (0,3 м/с). Проективное покрытие макрофитов слабое.

Станция № 1б – исток реки (бобровый пруд). Изменённый речным бобром (Castor fiber) участок ручья шириной не менее 1,5 м., расположенный

ВКР УдГУ

в том же месте. После появления бобровых плотин, в грунте преобладают ил и детрит. Течение практически отсутствует (скорость менее 0,05 м/с). Проективное покрытие макрофитов выше, чем было на открытом участке ручья.

Станция № 2 – исток реки. Участок ручья (в мае 2025 года), находящийся в 400 м. ниже по течению от пруда в СНТ «Нефтяник» и в 5 м. ниже плотины бобрового пруда (станция № 1б). По физико-географическим характеристикам участок ручья аналогичен станции № 1а. В непосредственной близости от станции отбора проб были обнаружены следы речного бобра, что свидетельствует об активной строительной деятельности бобров в данной местности. На момент наблюдений 15 июля 2025 года данный участок ручья запружен и является частью каскада бобровых прудов протяжённостью не менее 1 км.

Станция № 3. Участок реки на территории торфяника в 1 км. восточнее автодороги к д. Сокол, расположенный на открытой территории (лишённой деревьев) возле земляной насыпи с водопропускной трубой. Ширина участка реки на данной станции 4-5 м., глубина – 1-1,5 м. Донный грунт представлен преимущественно торфом, в прибрежной части участка реки также включает в себя песок и ил. Течение очень слабое (0,15 м/с). Проективное покрытие макрофитов сложно определить в связи с низкой прозрачностью воды. На территории торфяника ведётся активная торфодобыча при помощи промышленной техники.

Станция № 4. Участок реки, взятый на 200 м. ниже территории торфяника, в 600 м. восточнее автодороги к д. Сокол. Пойменная территория реки по обоим берегам отгорожена лесом. В русловой части реки присутствовали следы строительной деятельности речного бобра – следы резцов на деревьях и плотины. Скорость течения на момент наблюдений 31 июля 2024 года и 1 июня 2025 года слабая (0,15 – 0,3 м/с), с 18 июля 2025 года течение практически остановилось (< 0,05 м/с) из-за постройки нескольких бобровых плотин. В грунте преобладает ил и детрит, в меньшем

ВКР УдГУ

количестве присутствует торф и песок. Глубина на участке отбора проб составляла 0,5 – 1 м., ширина – 2-3 м. Проективное покрытие макрофитов высокое (50 %). Единственный выявленный источник антропогенной нагрузки на данном участке реки – кросс-трек, находящийся за лесом в 250 м. западнее станции.

Станция № 5. Несколько метров ниже места слияния рек Вожойка и Конанка, около моста в северной части д. Русский Вожой. На момент наблюдений 31 июля 2024 года в русле ниже места слияния рек присутствовала бобровая плотина, с 3 июня 2025 года плотина отсутствовала. Скорость течения очень низкая (<0,1 м/с). В грунте преобладает детрит и ил. Проективное покрытие в 2024 году слабое, с июня по август 2025 года – высокое (до 95%). Глубина на участке отбора проб 1 м., ширина – 6 м. Участок реки используется людьми для хозяйственных нужд и рекреации. Также в Вожойку на данной станции могут вноситься пестициды и удобрения с водами р. Конанки (левого притока), протекающей через северную часть д. Русский Вожой рядом с дачными участками.

Станция № 6. Верхняя часть пруда в д. Русский Вожой, ниже моста. Скорость течения очень низкая. Грунт состоит из ила, детрита и песка, возле моста в состав грунта также входит галька. Проективное покрытие высокое (40-60 %). Глубина в месте отбора проб – 1-1,5 м., ширина – от 18 (август 2024 года) до 40 м. (август 2025 года). Пруд в Русском Вожое используется людьми в хозяйственных целях и для рекреации. Рядом с территорией пруда проложены автодороги. В июле 2024 года пруд был спущен в связи с аварией на гидротехническом сооружении.

Станция № 7. 80 м. ниже плотины пруда в Русском Вожое. Пойменная часть участка реки покрыта смешанным лесом. Скорость течения низкая (0,2-0,3 м/с). В грунте преобладают ил и песок, а также присутствуют детрит, глина и раковины двустворчатых моллюсков. Проективное покрытие макрофитов очень низкое (около 5 %). Максимальная глубина – 50 см., ширина – 2-3 метра. На данном участке реки был зафиксирован регулярный

ВКР УлГУ

сброс канализационных стоков через трубу. Также, на плотине пруда осуществляется автомобильное движение.

Станция № 8. Участок реки на 200 м. западнее северной части починка «Разъезд 13 узкоколейной железной дороги» и на 200 м. ниже устья р. Ягулки. От починка пойменная часть реки отделена участком леса. В русле присутствуют несколько бобровых плотин на разном удалении друг от друга. Скорость течения умеренная (в среднем около 0,3 м/с). В грунте преобладают ил и песок, а также присутствуют детрит и глина. Проективное покрытие макрофитов умеренное (30 %). Глубина в месте отбора проб – 0,5-0,8 м., ширина – 4 м. Источников антропогенной нагрузки не выявлено, обустроенный выход к реке присутствует только на 350 м. ниже станции отбора проб, около железного моста между СНТ «Октябрь» и поч. «Разъезд 13 УЖД».

Станция № 9. Участок реки возле шоссейного моста (трасса 94Р-16). Скорость течения низкая (около 0,2 м/с). Грунт состоит из гальки, песка и детрита. Проективное покрытие макрофитов очень высокое (70-90 %). Глубина в месте отбора проб – 0,5-0,8 м., ширина – около 4 м. Единственный источник антропогенной нагрузки – автодорога.

Станция № 10. Участок реки возле Устиновского района г. Ижевска рядом с железным мостом и на 100 м. ниже устья р. Тонковки. Скорость течения низкая (0,2 м/с). Грунт состоит из ила и песка. Проективное покрытие высокое (до 80 %). Глубина в месте отбора проб – 0,6-0,8 м., ширина – 3,5 м. Источниками антропогенной нагрузки являются расположенный возле пойменной части город, производственное предприятие «Вортекс», д. Новые Марасаны (700 м выше по течению). Также, загрязняющие вещества могут попадать в реку с водами р. Тонковки, протекающей через Завьяловский и Устиновский районы Ижевска рядом с заводами (ООО СП Омега, ООО Нефть, Союз) и гаражными комплексами.

Станция № 11. Участок реки рядом с д. Нижний Вожой. Скорость течения на момент наблюдений 18 августа 2024 года и 21 июня 2025 года

ВКР УдГУ

высокая (0,5-1 м/с) и со 2 августа 2025 года – низкая (0,2 м/с). Грунт состоит из ила, песка и детрита. Отмечалось высокое проективное покрытие (45-70%) на момент наблюдений 18 августа 2024 года, 21 июня и 2 августа 2025 года. 6 сентября 2025 года проективное покрытие было низким (10%). Глубина в месте отбора проб до 1 м., ширина – 4-5 м. Источниками антропогенной нагрузки являются расположенная в пойменной части деревня Нижний Вожой и территория сельскохозяйственного комплекса «Путь Ильича» (450 м. северо-восточнее станции отбора проб). Также были отмечены следы гербицидной обработки в пойме рек.и

Станция № 12. Устье р. Вожойки. Скорость течения на момент наблюдений 18 августа 2024 года и 21 июня 2025 года средняя (0,5 м/с) и с 30 июня 2025 года – низкая (0,2 м/с). Грунт состоит из ила и песка. Проективное покрытие макрофитов небольшое (5%). Глубина в месте отбора проб – 2 м., ширина – 2,5-3 м. Основной источник антропогенной нагрузки – гербицидная обработка пойменной части и автодорога, расположенная на 1 км. выше по течению от устья.

(Приложение № 6)

ВКР УлГУ

Глава 3. Методика и материалы

3.1. Методика отбора проб

Для проведения биоиндикации по организмам макрозообентоса необходимо отобрать их при помощи орудий качественного сбора и зафиксировать в этиловом спирте.

Наиболее простым орудием для сбора донного населения является гидробиологический скребок. Он состоит из прочного металлического обода пирамидальной или полукруглой формы, нижний край которого делается из стальной заострённой с одной стороны полосы. Высота обода может быть от 8 до 20 см, а длина стальной полосы 6 – 18 см. На ободе и тыльной части стальной пластинки пробиты отверстия для прикрепления мешка. Мешок изготавливается из прочной и плотной конгресс-канвы, частой дели или мельничного шёлка. Обод скребка насажен на палку длиной от 1,5 до 3 м (Жадин, 1950).

Для отбора количественной пробы необходимо вырезать скребком определённую площадь дна, которая рассчитывается исходя из длины стальной пластинки.

Грунт с находящимися в нём животными, извлечённый из водоёма при помощи скребка, промывается в сите. Для этого сито погружается в воду водоёма.

Выборка животных производится при помощи пинцета. Отмытый и выбранный материал складывается в банки подходящего размера и фиксируется спиртом. Большинство донных обитателей фиксируется 70-% спиртом, а содержащих большое количество воды 96-% спиртом. Поскольку крепость спирта из-за отдачи животными воды постепенно снижается, следует проверять его концентрацию и при необходимости добавлять или заменять новым (Жадин, 1950).

Последующее определение организмов макрозообентоса производится при помощи соответствующих определителей. Представители семейства *Chironomidae* отсортировываются и отправляются специалисту по данной

ВКР УлГУ

группе (Головатюк Лариса Владимировна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории экологии водных беспозвоночных Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук) для более точного определения.

3.2. Определение сопутствующих гидрологических характеристик

Из гидрологических данных, необходимых для понимания распределения бентоса, наиболее важными являются глубина места исследования, особенности грунта, скорость течения воды, температура воды.

Глубина воды в мелководных водоёмах измеряется размеченным на сантиметры и дециметры длинным шестом-наметкой или размеренным тросом с грузом на конце.

Грунт для анализа (механического и химического) можно брать также при помощи гидробиологического скребка.

Для измерения скорости течения использовался поплавковый метод. Поплавок может быть изготовлен из любого плавающего материала. Для измерения поверхностного течения необходимо иметь на водотоке или на берегу две неподвижные точки. Расстояние между двумя точками (в метрах), деленное на время прохождения поплавка между ними (в секундах), равняется скорости течения воды в реке (Жадин, 1950).

Температура воды в поверхностном слое измеряется термометром. В ходе исследования температура и минерализация измерялись при помощи TDS-метра.

3.3. Методы биоиндикации

Сообщества водных организмов, вовлеченные в постоянный круговорот вещества и энергии с окружающей средой, реагируют на изменения ее качества адекватной структурно-функциональной перестройкой, проявляемой в снижении продуктивности, изменении соотношения отдельных видов, появлении новых доминантных видов, изменении сети трофических отношений. Поэтому, большинство методов

ВКР УлГУ

оценки состояния природных вод основано на оценке совокупностей показателей: числа видов, численностей и биомасс популяций, населяющих водоём, и рассчитанных различных соотношений между ними (Шитиков и др., 2003).

Основными гидробиологическими показателями являются видовое разнообразие (Оценка числа видов, характерная для данной точки экосистемы), плотность организмов (численность особей каждого вида, приходящаяся на определённую площадь) и плотность биомассы (масса особей каждого вида, приходящаяся на пространственную единицу экосистемы).

Для оценки биоразнообразия по соотношению таксонов и видовому разнообразию использовались следующие индексы:

1. Индекс Гуднайт-Уитлея – характеризует степень загрязнённости водоёма по соотношению численности олигохет и других обитателей дна (т.е. численности всего бентоса, включая олигохет).

$D_1 =$ *{численность олигохет}/{численность всего бентоса}*

0 – 20% олигохет – очень чистая вода

21 – 30% олигохет – чистая вода

31 – 50% олигохет – умеренное загрязнение

51 – 65% олигохет – загрязнённая вода

66 – 85% олигохет – грязная вода

86 – 100% олигохет – очень грязная вода

2. Индекс Шеннона – показатель биоразнообразия сообщества, основанный на вычислении энтропии, как среднего значения неопределённости отдельных исходов.

$H = -\sum(pi \times ln(pi))$

pi - доля всего сообщества, состоящая из вида i.

Значение > 3 – очень чистая вода

2,01 – 3,00 – чистая вода

1,51 – 2,00 – умеренное загрязнение

ВКР УлГУ

1,01 – 1,50 – загрязнённая вода

0,50 – 1,00 – грязная вода

<0,50 – очень грязная вода

3. Выравненность по Пиелу – показатель равномерности распределения количества видов внутри сообщества.

$E = H / log(1/N)$

H – значение индекса Шеннона;

N – число видов.

4. Индекс сапробности по Р. Пантле и Г. Букку – показатель загрязнения в точке измерения по средневзвешенному индексу сапробности.

$S = \sum(s_i * h_i) / \sum(h_i)$

S_i – индикаторная значимость или индивидуальный индекс сапробности вида i;

h_i – относительная численность вида i;

Значение индекса сапробности <1 – очень чистая вода

1,1 – 1,5 – чистая вода

1,6 – 2,5 – умеренное загрязнение

2,6 – 2,5 – загрязнённая вода

3,6 – 4,0 – грязная вода

>4,0 – очень грязная вода

5. Индекс Бергера-Паркера – мера доминирования вида в экологическом сообществе, отражающая пропорциональную численность наиболее распространённого вида (Мэгарран, 1998).

$BPI = Nmax / N$

Nmax — количество особей наиболее распространённого вида;

N — общее количество особей в сообществе.

В связи с неподчинением экспериментальных данных закону «нормального» распределения для статистического анализа использовались непараметрические методы сравнения для множественных переменных (Kruskall-Wallis ANOVA & Median test).

ВКР УлГУ

Также рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Вычисления производились в программе Statistica 10.

ВКР УдГУ

Глава 4. Результаты исследования и их обсуждение

4.1 Гидрологические характеристики реки

Во время отбора проб на всех станциях р. Вожойки были определены также гидрологические характеристики. При обработке полученных данных в программе Statistica 10, были отмечены значимые отличия между разными участками реки по разным гидрологическим показателям ($p<0,05$).

Исходя из значимых отличий по скорости течения воды, наиболее заметное увеличение этого показателя происходило на нижнем участке реки (значимое отличие между верхним и нижним участком реки) (Рис. 1), что связано с незарегулированностью стока на нижнем участке (отсутствовали как гидротехнические сооружения, так и бобровые плотины). Также увеличение скорости течения, вероятно, связано с увеличением естественного уклона русла в нижнем участке реки и повышением водности реки за счёт впадения притоков.

Рис. 1. Скорость течения на разных участках реки.

Средний уровень минерализации в реке был относительно низким в верховьях и возрастал в среднем и нижнем течении, что нетипично для многих рек (рис. 2). Увеличение минерализации в данных участках реки является вероятным следствием увеличенной антропогенной нагрузки на реку ниже территории торфяника, а также свидетельствовать о приносе большого количества минеральных частиц с водами притоков (р. Тонковка и р. Старковка), протекающих в черте города (Фассахов, 2020). Низкая минерализация на верхнем участке реки может быть связана с малым количеством родников, так как большая часть территории верхнего течения р. Вожойки занята торфяником.

Рис. 2. Уровень минерализации на разных участках реки, ppm.

ВКР УлГУ

Также можно отметить, что общий уровень минерализации в реке снижался в июле и сильно возрастал в сентябре (рис. 3). Значимые различия присутствовали между данными за сентябрь и данными за июль и август. Объяснить возрастание минерализации в сентябре можно как увеличением антропогенной нагрузки, так и отсутствием данных о минерализации в верхнем течении реки за сентябрь.

Рис. 3. Общий уровень минерализации в реке в разные месяцы.

Доля органического вещества в донных отложениях на большинстве станций была ниже 10%, хотя на многих из них присутствовали разного объёма отложения детрита. Высокая доля органики была характерна в основном для станций № 1, 3 и 5 (рис. 4). На 1-й и 5-й станциях высокая доля органики объясняется формированием бобрового пруда или просто низким течением при большом количестве растительности, что способствовало накоплению больших объёмов детрита. На 3-й станции органика представлена отложениями торфа.

Рис. 4. Средние показатели содержания органики в грунте

Наиболее значимые различия были выявлены между грунтами с большой долей детрита и преимущественно песчаными/каменистыми грунтами (рис. 4). Доля органики в детритных и торфяных грунтах могла сильно варьировать (от 30% до 60%), что объясняется разным поступлением органики в водоём и темпами её накопления. В песчаных и каменистых грунтах доля органики была стабильно низкой из-за неравномерного распределения органики в донных отложениях, даже при наличии большого количества водных растений и высокого поступления органики извне (как, к

ВКР УлГУ

примеру, на 8-й станции, где рядом с руслом растёт много деревьев, которые активно используются для строительства бобрами).

Рис. 5. Доля органического вещества на разных типах грунта

Проективное покрытие макрофитов в свою очередь во многом определялось типом грунта: на участках с преобладанием ила и гальки в грунте уровень проективного покрытия был выше. наиболее значимым было различие проективного покрытия макрофитов на песчаных грунтах и илистых/галечных, так как на илистых и каменистых грунтах практически всегда макрофиты занимали более 60% площади, а на песках значения проективного покрытия очень разнятся (рис. 5). Это, вероятнее всего, связано с тем, что сами песчаные грунты были отмечены на участках реки с разными условиями: глубиной, освещённостью и уровнем антропогенной нагрузки.

Рис. 6. Проективное покрытие макрофитов на разных типах грунта.

Так, проективное покрытие на 9-й станции, где присутствовал грунт с преобладанием гальки, было одним из самых больших, а на станциях № 7 и 12 с песчаным грунтом – самым низким. Помимо низкого содержания органики в грунте низкая площадь покрытия дна макрофитами объясняется также и неблагоприятными условиями на этих станциях: сильная антропогенная нагрузка в первом случае (сильное органическое загрязнение) и большая глубина вкупе с мутностью воды во втором. На 9-й станции, несмотря на низкую долю органики, были высокие показатели класса качества вод по индексам биоиндикации, оптимальная глубина и хорошая освещённость (рис. 6).

Рис. 7. Уровень проективного покрытия макрофитов на разных станциях.

ВКР УлГУ

4.2.1 Характеристика видового состава

За период отбора проб с июля 2024 года по сентябрь 2025 года в грунте р. Вожойки было обнаружено 176 видов, принадлежащих к 4 типам, 7 классам и 62 семействам (рис. 7). В типе *Arthropoda* было обнаружено 8 отрядов насекомых, включающих суммарно 45 семейств и 128 видов, а также минимум 2 вида водных клещей (*Hydrachnida*).

Среди моллюсков наибольшего видового богатства достигал класс *Gastropoda*, в частности род *Lymnaea* (прудовики), насчитывавший минимум 8 видов по всей территории р. Вожойки. При этом класс *Bivalvia* практически всегда доминировал по численности и биомассе, тогда как брюхоногие моллюски одного вида практически всегда встречались единичными экземплярами.

Примерно 11% от всех отмеченных таксонов макрозообентоса составляли кольчатые черви – олигохеты и пиявки. Практически все представители малощетинковых червей относились к подсемейству *Tubificinae*, кроме *Ophidonais serpentina* (Подсемейство *Naidinae*). Наиболее обширным среди пиявок было семейство плоских пиявок (*Glossiphoniidae*).

Рис. 8. Таксономическая структура макрозообентоса р. Вожойка.

Представители членистоногих составили 74% от общего видового богатства. Среди насекомых большая часть видов принадлежала к отряду *Diptera* (58% видов) (рис. 8).

Наибольшее видовое богатство было характерно для личинок комаров-звонцов (*Chironomidae*) – 56 видов. Из них представители подсемейства *Prodiamesinae* – 3 вида, *Chironominae* – 28 видов, *Orthocladiinae* – 13 видов, *Tanypodinae* – 11 видов. Некоторые из видов хирономид отмечались лишь единожды, к примеру, *Micropsectra contracta* на станции № 12 и *Anatopynia plumipes* на станции № 6. Эврибионтные личинки хирономид,

ВКР УлГУ

принадлежащие к родам *Chironomus* и *Procladius*, присутствовали на многих станциях, в части из которых являлись доминирующими.

Наиболее устойчивые к антропогенной нагрузке виды, такие как *Tanytarsus usmaensis*, встречались на территории д. Русский Вожой (5-я и 6-я станции) (Зинченко, 2006). Представители отдельных отрядов насекомых также присутствовали только на определённых станциях: личинки *Sialis sordida* были обнаружены только на станциях, взятых выше плотины пруда в Русском Вожое, черви из семейства Naididae (*Ophidonais serpentina*) были обнаружены преимущественно на устье Вожойки, а также на 7 станции (возле плотины пруда). Доминирующими группами на большинстве станций являлись личинки хирономид и олигохеты. Среди хирономид чаще всего доминировали виды *Chironomus sp., Procladius ferrugineus* и *Paratendipes albimanus.*

Рис. 9. Таксономическая структура класса Insecta.

4.2.2. Характеристика видового состава макрозообентоса на биотопах с разным типом грунта

На р. Вожойка преобладали песчано-илистые грунты с высоким содержанием детрита. Меньшее содержание детрита в грунтах было отмечено на первой станции в 2024 году и на 2 станции в 2025 году (креналь), а также на станциях № 7, 11 и 12. Речной грунт на станциях № 3 и 4 включал в себя торф, при этом на станции № 3 (разрабатываемая территория торфяника) торф преобладает, а на станции № 4 преобладает песок и детрит. Грунт с преобладанием гальки и песка присутствовал на станциях № 5 в 2024 году (территория пруда в Русском Вожое около моста) и № 9 (возле шоссейного моста) за все серии сбора проб.

В пробах речного грунта с высоким содержанием детрита было суммарно обнаружено 128 видов (рис. 9), из них доминантными и субдоминантными видами были представители класса *Oligochaeta*

ВКР УдГУ

(*Limnodrilus hoffmestery*, *Tubifex tubifex*, *T. ignotus*) и личинки хирономид (*Chironomus sp.*, *Polypedilum bicrenatum* и *Procladius ferrugineus* – преимущественно доминантные, *Paratendipes albimanus* и *Microtendipes pedellus* – преимущественно субдоминантные). На станциях № 1б и 5 также большой численностью обладали двустворчатые моллюски Euglesa sp. и Pisidium amnicum.

На станциях с меньшим содержанием детрита и преобладанием ила и песка доминировали преимущественно олигохеты *Limnodrilus hoffmestery*, *Tubifex newaensis* и *T. tubifex*, на станции № 7 высокой численностью обладал также *Limnodrilus udekemianus*. Личинки хирономид на участках реки с низким содержанием детрита доминировали в 4-х пробах: на станции № 1а (июль 2024 года), № 7 (середина июня и начало августа 2025 года) и № 11 (начало августа 2025 года). При этом на 1а и 11 станциях доминировали виды *Stictochironomus crassiforceps* и *Cricotopus bicinctus* соответственно, которые отсутствовали или имели незначительную численность на других станциях. На примере исследования р. Большая Сарапулка 2017 года можно судить, что высокая доля численности олигохет и личинок хирономид является частым явлением для псаммо-пелореофильных сообществ (Холмогорова, Пастухова, 2017).

На станции № 2 (конец мая 2025 года) доминировали двустворчатые моллюски *Euglesa sp*. Также на этой станции было наименьшее содержание детрита, грунт был практически полностью песчаным.

На участках реки с преобладанием торфа в грунте (Станция № 3) доминантным видом были личинки хирономид *Procladius ferrugineus* (подсемейство *Tanypodinae*), другие виды хирономид обладали меньшей численностью. На момент отбора проб в конце июня 2024 года и начале июня 2025 года наибольшей численностью обладали роющие подёнки *Ephemera vulgata* и клопы рода *Micronecta*.

На станции № 4 в грунте помимо торфа присутствовал также детрит и песок. Видовое разнообразие зообентоса на данной станции выше. Наиболее

ВКР УдГУ

многочисленные группы – личинки хирономид и двустворчатые моллюски семейства Sphaeridae (*Euglesa sp*., *Pisidium amnicum*). Олигохеты (*Limnodrilus hoffmestery*) доминировали только в конце июля 2024 года и начале июня 2025 года, в других пробах с данной станции численность олигохет была незначительной. Личинки хирономид на данной станции обладали наибольшим видовым разнообразием (до 18 видов на одну пробу), наиболее многочисленный вид – *Procladius ferrugineus*.

На каменистом грунте доминирующими группами являются олигохеты и личинки хирономид из подсемейства *Chironominae* (*Polypedilum bicrenatum*, *Paratanytarsus sp*., *Cladotanytarsus mancus*). Также на данном типе грунта были распространены личинки мошек (семейство *Simuliidae*) и личинки подёнок рода Baetis. Всего на каменистом грунте было отмечено 53 вида гидробионтов с высокой долей численности личинок двукрылых (в основном хирономид), средне-высокой долей олигохет (от 11 до 53 %) и высокой биомассой моллюсков при малой их численности. Из других малых рек схожее число видов было обнаружено и в псаммо-литореофильном сообществе реки Большая Сарапулка по данным исследований 2017 года, однако его структура отличалась: моллюски доминировали не только по биомассе, но и по численности, а доля олигохет и личинок двукрылых была относительно небольшой, что, вероятно, связано с меньшим количеством донных растений и, как следствие, меньшим количеством органики (Холмогорова, Пастухова, 2017).

ВКР УдГУ

Рис. 10. Распределение количества видов по типам грунта

4.3. Количественные показатели макрозообентоса

За период отбора проб на р. Вожойка с 26.07.2024 по 08.09.2025 были получены данные по количественным показателям макрозообентоса. Суммарно было отмечено 176 видов и более высоких таксонов.

Минимальное видовое разнообразие было отмечено на станции отбора проб № 6 в 2024 году – 4 вида, максимальное видовое разнообразие было отмечено на станции № 4 во второй половине июля 2025 года – 38 видов. Среднее (медианное) значение видового богатства – 16 видов (рис. 10).

Рис. 11. Средние показатели изменения числа видов макрозообентоса

Максимальная численность макрозообентоса в одном м² была отмечена на станции № 10 – 15588 экз., минимальная численность была отмечена на станции № 6 – 250 экз. Средняя численность – 1975 экз/м² (рис. 11).

Рис. 12. Средние показатели изменения численности макрозообентоса.

Максимальная биомасса макрозообентоса отмечалась на станции № 7 – 1380541 мг/м², минимальная биомасса отмечалась на станции № 6 – 156 мг/м². Средняя биомасса – 9041,25 мг/м². Низкие количественные показатели для станции № 6 (пруд в д. Русский Вожой) были характерны только в 2024 году в связи с пересыханием пруда, в последующих сборах проб количественные показатели были выше. Высокая биомасса на станциях № 7 и 8 обусловлена наличием крупных моллюсков из семейства *Unionidae* (рис. 12).

Рис. 13. Средние показатели изменения биомассы макрозообентоса.

4.4 Сезонная динамика показателей макрозообентоса

4.4.1 Динамика видового богатства макрозообентоса

Число видов в одной пробе на р. Вожойка менялось от 4 на станции № 6 (пруд в деревне Русский Вожой) в августе 2024 года до 38 на станции № 4 (территория между торфяником и д. Русский Вожой) в августе 2025 года. В июльских пробах наибольшее видовое богатство было на станции № 5 (36 видов), наименьшее – на станции № 2 (7 видов). В июле и августе

ВКР УлГУ

наибольшее видовое богатство было на станции № 4, а минимальное – на станции № 11.

На станциях № 1, 4, 7, 8, 9 и 10 видовое богатство увеличивалось с конца весны до начала осени. На станциях № 3 и 6 число видов в августе-сентябре было незначительно меньше. При этом разница в видовом богатстве между июньскими и июльскими пробами на станциях № 3, 4, 8 и 9 составляла более 10 видов. Увеличение видового богатства на многих станциях связано с массовым развитием личинок разных видов хирономид, которые часто становятся доминирующей группой на участках со слабым течением.

Максимальный прирост числа видов в июле наблюдался на станции № 3 (торфяник) – 23 вида. На станциях 11 и 12 видовое богатство в июньских и сентябрьских пробах отличается незначительно, а в июльских пробах наблюдается снижение числа видов, что может быть связано с активной гербицидной обработкой пойменной территории в июле 2025 года около данных станций. Видовое богатство на станции № 5 (Русский Вожой, место слияния Вожойки с левым притоком – р. Конанкой) на протяжении лета уменьшалось: 36 видов в июне, 20 в июне и 17 в августе (рис. 13).

Рис. 14. Сезонная динамика числа видов.

4.4.2 Динамика численности макрозообентоса

Численность макрозообентоса на одной станции варьировала от 463 экз./м² на станции № 3 (территория торфяника) в июне до 15588 экз./м² на станции № 10 (рядом с посёлком Смирново) в сентябре 2025 года. Численность макрозообентоса увеличивалась в течение лета на станциях № 1, 3, 4, 9, 10 и 12. Численность макрозообентоса в июле значительно увеличивалась на станциях № 1 и 3 (в 9 раз и в 4 раза соответственно) (рис. 14).

Сильное увеличение численности в августе наблюдалось на станции № 10 (примерно в 3,5 раза) за счёт массового развития олигохет и личинок

ВКР УлГУ

хирономид, что может указывать на сильную эвтрофикацию, что может быть связано как с повышенной антропогенной нагрузкой в августе-сентябре, так и с поступлением загрязняющих веществ с водами р. Тонковки (правый приток). Также увеличение численности олигохет и личинок хирономид вкупе с уменьшением доли численности моллюсков с 3,22 % (август) до 0,64 % (сентябрь) на 10-й станции может косвенно указывать на загрязнение нефтепродуктами, однако увеличение общей биомассы и числа видов этому противоречат (Холмогорова, 2007). На этой же станции отмечена максимальная численность макрозообентоса на р. Вожойке в 2025 году.

На второй по численности станции (станция № 4) за август присутствовало в 2 раза меньше экземпляров макрозообентоса. На станциях № 6, 7 и 8 (участок реки от д. Русский Вожой до починка «13 разъезд узкоколейной железной дороги») численность макрозообентоса в августе была меньше чем в июле.

На станциях № 5 и 11 июньская численность превышала июльскую. На станции № 11 превышение незначительно, на станции № 5 в июне численность макрозообентоса превышала июльскую более чем в 5,5 раз. Резкое снижение показателей видового богатства и численности макрозообентоса на 5-й станции в июле 2025 года предположительно может быть связано с токсическим воздействием на территории Русского Вожоя либо с приносом загрязняющих веществ с водами р. Конанки. При этом можно предположить, что загрязнение минеральным фосфором и марганцем на станции № 5 маловероятно, так как после снижения численности там отмечались виды, слабо устойчивые к данным типам загрязнения - *Glossiphonia complanata*, *Limnodrilus hoffmestery* (наиболее массовый), *Tubifex tubifex*, и *Monodiamesa bathyphila* (Шитиков, 2022).

Рис. 15. Сезонная динамика численности макрозообентоса.

ВКР УлГУ

4.4.3 Динамика биомассы макрозообентоса

Максимальная биомасса макрозообентоса составляла 1380541 мг/м² и была отмечена на станции № 7 (ниже плотины в д. Русский Вожой) в июне 2025 года. Минимальная биомасса была зафиксирована на станции № 11 (Нижний Вожой) в июле и составляла 421 мг/м². Причиной высокой биомассы на 7-й станции является массовое развитие крупных двустворчатых моллюсков – *Anodonta anatina* и *Unio pictorum.* С отсутствием этих моллюсков в пробе также связана сравнительно низкая биомасса на данной станции в августе. Высокая биомасса макрозообентоса также наблюдалась на станциях № 1 в июле и № 5 в июне. На 5-й станции биомасса также сильно снизилась в июле и августе. На большинстве других станций биомасса оставалась на приблизительно одном уровне в течение лета (рис. 15).

Рис. 16. Сезонная динамика биомассы макрозообентоса.

4.5 Межгодовая динамика показателей макрозообентоса

4.5.1 Динамика видового богатства макрозообентоса

Для определения межгодовой динамики макрозообентоса в р. Вожойка были сравнены данные за июль-август 2024 и 2025 годов. Более высокие значения числа видов в 2025 году связаны с определением представителей семейства *Chironomidae* до вида, тогда как в 2024 году определение проводилось до подсемейства (исключение – 1 станция) (рис. 16).

По соотношению числа видов на станциях № 5 и 6 можно судить об ухудшении экологической ситуации на 6-й станции в 2024 году, связанном со спуском пруда в деревне Русский Вожой, и о частичном восстановлении прудовой экосистемы в 2025 году. При этом на станции № 5 в 2025 году видовое богатство снижается примерно в 2 раза по сравнению со станциями

ВКР УлГУ

№ 4 и 6, что может свидетельствовать об увеличении антропогенной нагрузки возле устья р. Конанки.

На станциях № 7 и 10 также наблюдается снижение видового богатства в 2025 году в связи с антропогенной нагрузкой на реку в данных станциях. Большее число видов макрозообентоса на станции № 10 в 2024 по сравнению с данными за 2025 год косвенно свидетельствует об увеличении антропогенной нагрузки в 2025 году. Соотношение видового богатства на других станциях в 2024 году совпадает с соотношением показателя за 2025 год.

Рис. 17. Межгодовая динамика видового богатства.

4.5.2 Динамика численности макрозообентоса

Более высокие значения численности макрозообентоса в 2025 году связаны с более тщательным отбором донных гидробионтов по сравнению с 2024 годом. Максимальная численность за 2025 и 2024 годы была отмечена на станции № 7 за счёт массового развития олигохет и личинок хирономид. В 2025 году также высокая численность отмечалась на станциях № 1 и 6. Увеличение численности макрозообентоса на 1-й станции в 2025 году может быть связано с запруживанием ручья и, как следствие, накоплением органики в образовавшемся бобровом пруду. Увеличение численности на станции № 6 (пруд) вкупе с увеличением числа видов свидетельствует о восстановлении экосистемы после пересыхания водоёма в 2024 году (рис. 17).

На станции № 5 численность также снижается в 2025 году, тогда как в 2024 году количество экземпляров макрозообентоса на м² на данной станции было выше, чем на предыдущей. Стабильно низкая численность макрозообентоса отмечалась на станциях № 11 и 12. Причиной этого, вероятно, является регулярная обработка пойменной территории

ВКР УдГУ

гербицидными препаратами. Динамика численности на станциях № 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 совпадает в процентном отношении.

Рис. 18. Межгодовая динамика численности.

4.5.3 Динамика биомассы макрозообентоса

Наибольшая биомасса макрозообентоса в р. Вожойка за 2024 и 2025 годы присутствовала на станции № 7 (993250 мг/м²), высокие значения биомассы достигались за счёт массового развития олигохет, личинок хирономид и крупных двустворчатых моллюсков (*Anodonta anatina* и *Unio pictorum*). Наименьшая биомасса отмечалась на станции № 6 в 2024 (156 мг/м²) году и на станции № 11 в 2025 году (421 мг/м²). В 2024 году значение биомассы на 7-й станции было выше, чем в 2025 году в связи с большей эвтрофикацией, из-за чего численность крупных олигохет (*Limnodrilus udekemianus*) была значительно выше (рис. 18).

Наличием в пробах крупных двустворчатых моллюсков также объясняются высокие показатели биомассы на станциях № 8 и 9 в 2024 году. В 2025 году биомасса на станциях № 1, 4 и 6 превышала значение показателя за 2024 год. Причины повышения биомассы на 6-й станции были описаны выше, на 4-й станции более высокие значения биомассы связаны с увеличением численности двустворчатых моллюсков *Euglesa sp.*и личинок комаров *Procladius ferrugineus.* Увеличение биомассы на станции № 1 связано с постройкой бобровой плотины, приведшей к увеличению жизненного пространства макрозообентоса и накоплению органики, что является более благоприятными условиями для развития водных клопов и личинок хирономид (Туманов, 2009). На станциях № 11 и 12 биомасса макрозообентоса имеет стабильно низкие показатели.

Рис. 19. Межгодовая динамика биомассы.

4.6 Биоиндикация загрязнения реки Вожойка

ВКР УдГУ

Для проведения биоиндикации загрязнения в реке Вожойка на основе количественных показателей макрозообентоса были рассчитаны индексы Шеннона, Гуднайт-Уитлея, Пантле-Букка, Бергера-Паркера и Вудивисса. По индексу Шеннона, наибольшее биоразнообразие с наибольшей выравненностью было характерно для станций, расположенных на участках реки в районе торфяника (станции № 3 и 4) и для 9-й станции, расположенной на удалении от населённых пунктов, расположенных непосредственно в пойменной части. Автомобильная трасса, расположенная возле 9-й станции, не оказывала сильного влияния на значение индекса Шеннона и, как следствие, на уровень видового разнообразия на данном участке реки (рис. 19).

Торфодобыча с пойменной территории участка реки возле 3-й станции также слабо повлияла на бентосное сообщество (низкое значение индекса Шеннона было только в начале июня – 1,64 бит/экз., в июле и августе значение было больше – от 2,32 бит/экз. до 3,10 бит/экз.). Станция № 4 расположена на удалении от источников антропогенной нагрузки, из-за чего обладает максимальным значением индекса Шеннона (2,5 бит/экз. в среднем), достигавшим к августу значения в 3,07 бит/экз. Индекс доминирования на станции № 4 также минимален.

Более низкие показатели индекса были отмечены на участке реки в районе истока (станция № 1). Русского Вожоя (станции № 5, 6, 7) и в 2 км. ниже по течению (станция № 8), а также на всех станциях, взятых на участке реки от территории рядом с Устиновским районом г. Ижевска до устья. Значение индекса Шеннона на данных станциях варьировало от 1,61 до 1,94 бит/экз., что соответствует умеренному загрязнению воды (класс качества воды - 2).

Наименьшее значение индекса Шеннона и выравненности по Пиелу присутствовало на станции № 2 (свободная часть истока), что связанно с преобладающей численностью моллюсков *Euglesa sp.* и низкой численностью представителей других видов. Там же было и наибольшее

ВКР УдГУ

значение индекса Бергера-Паркера – 0,83. При этом, в июле 2024 года на станции № 1, взятой на ещё не модифицированном бобрами участке ручья (грунт также песчаный, но с более высоким содержанием детрита, доля органики в пробе грунта – 2,98%), показатель индекса Шеннона составлял 2,39 бит/экз. (класс качества вод - 1). Это превосходит все показатели за 2025 год, когда участок ручья на данной станции представлял собой бобровый пруд. С 2025 года индекс Шеннона на 1-й станции составлял около 1,5 бит/экз., увеличиваясь к августу до 1,65 бит/экз., такое снижение показателя индекса является нормальным для молодого водоёма в связи с изменившимися условиями существования гидробионтов (Туманов, 2009).

Рис. 20. Среднее значения индекса Шеннона и выравненности по Пиелу

Низкие показатели индекса Шеннона и высокое доминирование (рис. 20) на станции № 2 объяснить сложнее, так как сам биотоп (свободный участок ручья ниже плотины бобрового пруда) на исследуемой территории р. Вожойка существовал только в конце мая 2025 года. Вероятнее всего это может быть связано с низким поступлением органики в ручей из-за бобровой плотины. Низкие значения индекса Шеннона и количественных показателей на станции № 2 также могут быть связаны и с неблагоприятностью песчаных грунтов (доля органики – 1,9 %) для развития макрозообентоса (аналогичная ситуация была на подобном участке на р. Лозе в исследовании Н.В. Холмогоровой за 2001-2007 годы (2009)).

Относительно низкое значение индекса Шеннона для станций № 5 и 12 (1,87 и 1,77 бит/экз. соответственно) является нехарактерным, так как в экотонах (станция № 5 – место впадения р. Конанки в р. Вожойку, станция № 12 – место впадения р. Вожойка в р. Позимь) биоразнообразие должно быть больше. Низкий индекс Шеннона и снижение выравненности может свидетельствовать о сильной антропогенной нагрузке, приведшей к нарушению бентосного сообщества на данных станциях. Следы гербицидной обработки возле д. Позимь и наличие многочисленных огородных участков в

ВКР УлГУ

пойме р. Конанки может указывать на токсическое загрязнение (пестициды, удобрения).

Низкое значение индекса Шеннона и низкая выравненность присутствует также на станции № 7, где была обнаружена труба с, предположительно, канализационными стоками.

Рис. 21. Средние значения индекса Бергера-Паркера.

По олигохетному индексу Гуднайт-Уитлея, наилучшие показатели были характерны для всей территории реки выше д. Русский Вожой (менее 20% олигохет). Немного больше была средняя доля олигохет на станции № 9 и составляла 26,5 %. Станции, взятые на территории Устиновского района г. Ижевска, деревень Русский Вожой и Нижний Вожой, а также на 2 км. ниже д. Русский Вожой, имели значения олигохетного индекса от 43,93% на станции № 5 до 54,80% на станции № 7, что соответствует умеренному загрязнению (рис. 21).

При этом, на 7-й станции доля олигохет сильно варьировала от низких значений (до 30,1 %) в июне и июле 2025 года до высоких значений в августе 2024 и 2025 года (76,8 и 86,4 соответственно). В первом случае доминантной группой являлись личинки хирономид, во втором случае они же являлись субдоминантной группой. Представители других групп были крайне малочисленны, что указывает на сильную эвтрофикацию реки на данном участке в течение всего периода сбора проб.

Также в августе возрастал олигохетный индекс на станции № 11 с 20% до 85%. Учитывая стабильно низкую численность макрозообентоса на данной станции, следы гербицидной обработки и присутствие поблизости сельскохозяйственных территорий, это может быть связано с угнетением сообщества олигохет в июле за счёт стока поллютантов (угнетать сообщества олигохет могут тяжёлые металлы и пестициды (Макрушин, 1974)) и восстановлением численности наиболее толерантных к токсическому загрязнению особей в августе. На остальных станциях, взятых на

ВКР УдГУ

вышеуказанном участке реки, сильное возрастание олигохетного индекса происходило в июле.

На станции 12 среднее значение олигохетного индекса было максимальным и составляло 67,6%. Наибольшее значение индекса за весь период сбора проб также было отмечено в июле и составляло 91,5%, что соответствует экстремальному загрязнению. Наименьшее значение олигохетного индекса на данной станции было отмечено в августе 2024 года и составляло 50% (верхняя граница умеренного загрязнения).

Рис. 22. Среднее значение олигохетного индекса Гуднайт-Уитлея для каждой станции.

По среднему индексу сапробности Пантле-Букка все участки реки Вожойки где отбирались пробы относятся к мезосапробной зоне: станции № 3, 4 и 9 относились к ß-мезосапробной зоне, остальные станции – к α-мезосапробной (рис. 22). Мезосапробные воды являются наиболее распространёнными для рек Удмуртии, о чём можно судить на основании других работ по исследованию экологического состояния малых и средних рек республики (к примеру, в реке Иж за 2012-2013 годы средний индекс сапробности составлял от 2,3 до 2,86 (Холмогорова, 2017)) При этом, на станции № 3 за весь период сбора проб значение индекса сапробности не превышало 2,26. На станциях № 4 и 9 в как минимум 1 раз значение индекса соответствовало ß-мезосапробной зоне. Из индикаторных видов на вышеуказанных станциях присутствовали разные виды ручейников, подёнки *Ephemera vulgata* (только станции № 3 и 4) и *Caenis horaria*, личинки мух *Atherix ibis* (станция № 9), моллюск *Dreissena polymorpha* (Станция № 4).

В начале августа 2024 года на станции № 7 было отмечено наибольшее значение индекса сапробности за весь период сбора проб – 4,25, что соответствует полисапробным водам. Такое высокое значение обусловлено наличием в пробах личинок мух рода *Eristalini,* индикаторная значимость

ВКР УдГУ

которых – 7. По всем остальным индексам вода на данной станции в 2024 году также попадала под определение «грязная» или «очень грязная».

В 2025 году по индексу сапробности участок реки на 7-й станции соответствовал мезосапробной зоне (максимальное значение составляло 2,73), что может свидетельствовать об активном процессе самоочищения за счёт фильтрационной активности гидробионтов-фильтраторов (двустворчатых моллюсков) и задержки и поглощения части биогенов и загрязняющих веществ другими организмами зообентоса, в особенности олигохетами (Остроумов, 2021).

К полисапробной зоне относились также участки реки на станциях № 6 и 11 в 2024 году, поскольку из индикаторных в данных пробах были определены преимущественно черви *L. hoffmestery* и *T. tubifex*, имеющие индикаторную значимость 3,6 и 3,7 соответственно. В 2025 году наибольший индекс сапробности был выявлен на станции № 12 в начале августа и составлял 3,12, что близко к верхней границе α-мезосапробной зоны.

Рис. 23. Среднее значение индекса сапробности Пантле-Букка для каждой станции.

По биотическому индексу Вудивиса, так же как и по большинству других показателей, наилучшее качество воды было выявлено на станциях № 3, 4 и 9. Минимальные показатели биотического индекса присутствовали на станциях № 7, 11 и 12 (рис. 23). На станции № 7 единожды присутствовал представитель отряда *Trichoptera* в начале сентября, что обуславливает немного более высокое среднее значение индекса, чем на станциях № 11 и 12.

По всем индексам биоиндикации показатели качества воды постепенно улучшались с 7-й по 9-ю станцию, что хорошо демонстрирует процесс самоочищения реки, сопровождающийся увеличением видового

ВКР УлГУ

разнообразия, увеличением выравненности и появлением в бентосном сообществе олигосапробных видов (на 7-й станции личинки подёнок и ручейников практически не отмечались, тогда как на 9-й станции их суммарная доля достигала 27 %). Улучшение качества воды также может быть связано и с разбавлением воды в реке Вожойке водами её левого притока – р. Долгушки, впадающей выше 7-й станции.

Рис. 24. Среднее значение биотического индекса Вудивиса для каждой станции.

По корреляции количественных показателей и данных биоиндикации с гидрологическими показателями и проективным покрытием макрофитов р. Вожойки были получены следующие данные.

Доля численности моллюсков, большая часть которых являлась двустворчатыми, имела слабую тенденцию к уменьшению при увеличении скорости течения. Также присутствовала слабая отрицательная корреляция между скоростью течения в реке и проективным покрытием макрофитов, с которым в свою очередь коррелировали некоторые характеристики структуры бентосных сообществ.

Наиболее выраженной была слабо-умеренная отрицательная зависимость индекса сапробности Пантле-Букка от степени покрытия дна высшими водными растениями, что может указывать на лучшее качество вод по органическому загрязнению на участках, где больше донной растительности.

Слабая положительная корреляция присутствует между проективным покрытием макрофитов и присутствием в бентосном сообществе таксонов, характерных для более чистых вод, особенно представителей отряда *Ephemeroptera*. Доля численности и биомассы личинок подёнок имеет слабую тенденцию к увеличению при увеличении проективного покрытия макрофитов.

ВКР УдГУ

Минерализация воды в реке слабо коррелировала с общей численностью макрозообентоса на станции и с долей олигохет в бентосном сообществе (в меньшей степени). При увеличении значения минерализации количество экземпляров макрозообентоса на 1 м² также имеет тенденцию к увеличению. Учитывая увеличение минерализации в среднем и нижнем течении, можно предположить, что доля олигохет скорее увеличивалась при увеличении антропогенной нагрузки и напрямую не связана с минерализацией (которая также повышалась в соответствии с антропогенной нагрузкой) (табл. 1).

Таблица 1.

Коэффициент корреляции Спирмена.

Из количественных показателей макрозообентоса наиболее значимыми были доли отдельных крупных таксонов на разных участках реки. Так, доля численности представителей класса Oligochaeta в верхнем течении реки практически не достигала даже минимальных значений олигохетного индекса с среднем и верхнем течении (рис. 24). Особо можно выделить различие доли олигохет на станциях № 3 и 12: при схожей численности макрозообентоса олигохетный индекс на 3-й станции ни разу не превышал 6%, тогда как на 12-й станции он варьировал от 50% до 91%.

Рис. 25. Значение олигохетного индекса на разных участках реки.

На среднем и верхнем течении биомасса олигохет была сопоставима за счёт присутствия в донных сообществах бентонтов с большой биомассой 1 экземпляра (личинки стрекоз, моллюски) или массового развития личинок комаров рода *Chironomus*. В нижнем участке реки такие это встречалось реже (рис. 25).

ВКР УдГУ

Сильная тенденция к увеличению олигохетного индекса в среднем и нижнем течении соответствует увеличению антропогенной нагрузки. Тот участок среднего течения р. Вожойки, антропогенная нагрузка на котором минимальна (от 8-й до 9-й станции), также подвержен действию загрязняющих веществ, поступающих в реку на 7-й станции, хоть и в гораздо меньшей степени. Об этом свидетельствует олигохетный индекс, который варьировал от 11% до 59% с преобладанием значений ниже 40% в течение всего сезона сбора проб.

Рис. 26. Доля олигохет по биомассе на разных участках реки.

По доле численности личинок подёнок значимые различия присутствовали между верхним участком реки и всеми остальными (рис. 26). В верховьях их численность достигала 35% от всего макрозообентоса в пробе, тогда как на среднем и нижнем течении личинки подёнок никогда не были доминантной или субдоминантной группой (максимальная доля от общей численности макрозообентоса в нижнем течении – 14,5% (станция № 9), в среднем течении – 2,7% (станция № 8)). Полное отсутствие личинок подёнок в пробе встречалось на всех участках реки, однако на среднем и нижнем течении это было более распространено, вплоть до отсутствия представителей *Ephemeroptera* на отдельных станциях за весь сезон сбора проб (станции № 7, 11 и 12). Это свидетельствует о меньшей концентрации кислорода на участках реки на территории д. Русский Вожой и ниже (личинки подёнок являются оксифильными гидробионтами), а также о большем органическом загрязнении.

Рис. 27. Доля личинок подёнок по численности на разных участках реки.

ВКР УлГУ

График доли личинок подёнок по биомассе на разных участках реки (рис. 27) более ярко отражает вышеописанный тезис, так как свидетельствует о массовом развитии крупных личинок подёнок (*Ephemera vulgata*), индикаторная значимость которых для индекса сапробности – 1,4, что говорит о высокой требовательности данного вида к чистоте водоёмов. В среднем и нижнем течении присутствовали преимущественно немногочисленные личинки родов *Cloeon* и *Baetis*, значительно уступающие по численности и биомассе личинкам двукрылых и малощетинковым червям.

Рис. 28. Доля личинок подёнок по биомассе на разных участках реки.

Схожая ситуация наблюдается и по доле численности моллюсков, которая имеет высокие показатели в верхнем течении и сильно снижается на нижнем участке реки (рис. 28). В верховьях реки высокой численности достигают двустворчатые моллюски, преимущественно представители семейства *Sphaeridae*, в нижнем течении находки моллюсков немногочисленны, а по видовому богатству преобладают представители класса *Gastropoda*.

Рис. 29. Доля моллюсков по численности на разных участках реки

На основе данных по биоиндикации были определены средние классы качества вод в р. Вожойка (рис. 29). На большинстве станций был отмечен 3-й класс качества вод, соответствующий умеренному загрязнению. Более загрязнёнными по данным биоиндикации были участки реки на станциях № 7, 11 и 12 с классами качества вод 3,75, 3,5 и 4 соответственно (умеренно загрязнённые и загрязнённые (преимущественно)). На них же была отмечена и наибольшая антропогенная нагрузка – сброс сточных вод (7-я станция) и гербицидная обработка. Наилучшее качество вод присутствовало на станциях № 3 и 4 (территория торфяника и участок ниже неё), где были отмечены

ВКР УдГУ

классы качества вод 1,75 (очень чистые и чистые (преимущественно)). Также высокое качество воды присутствовало на станции № 9, расположенной возле шоссейного моста (класс качества вод 2 - чистые).

Рис. 30. Усреднённые значения класса качества вод для каждой станции.

ВКР УДГУ

Выводы

1. За период исследования в реке Вожойка было обнаружено 176 видов и таксонов более высокого ранга макрозообентоса из 4 типов, 7 классов и 62 семейств. Из них насекомые составляли 72,7 % (128 видов), брюхоногие моллюски – 9% (16 видов), олигохеты – 6% (11 видов), двустворчатые моллюски – 5% (8 видов). На долю всех остальных представителей макрозообентоса приходилось около 7 %.
2. Наибольшее количество видов представителей макрозообентоса было отмечено на станции № 4 (27 видов), минимальное – на станции № 2 (7 видов). Максимальная численность макрозообентоса была отмечена на станции № 10 (5750 экз.), минимальная – на станции № 11 (850 экз.). Максимальная биомасса макрозообентоса была отмечена на станции № 7 (761 г/м²), минимальная – на станции № 11 (1, 22 г/м²).
3. Отмечен рост численности и биомассы макрозообентоса с июня по сентябрь для большинства участков реки. Исключение – станции № 5 и 11, где количественные показатели в основном снижались в течение лета. По межгодовой динамике было отмечено увеличение количественных показателей на станциях № 1 и 6 и снижение количественных показателей на станции № 5.
4. По данным биоиндикации был выявлен участок реки с наименьшим загрязнением (класс качества воды – 1,75, очень чистые/чистые) на станциях № 3 и 4 – территория торфяника и участок реки выше д. Русский Вожой. Наибольшее загрязнение (класс качества воды – 4, загрязнённая) присутствовало на станции 12 – устье реки. Большинство станций на реке имело класс качества вод 3 – умеренное загрязнение.

ВКР УлГУ