МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

Факультет естественного и математического образования
Кафедра географии, биологии и химии

Гидрологические и гидрохимические параметры воды реки Увелька в районе города Южноуральска

Выпускная квалификационная работа
по направлению 05.03.06 Экология и природопользование

Направленность программы бакалавриата

«Природопользование»

Форма обучения очная

Проверка на объём заимствований:
84,26 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
«15» 05 2026 г.
Зав. кафедрой географии, биологии и химии
_____ Малаев А. В.

Выполнила:
Студентка группы ОФ-423/058-4-1
Ковалёва Екатерина Дмитриевна

Научный руководитель:
канд. хим. наук, доцент
Сутягин Андрей Александрович
_____

Челябинск
2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ ВОД ... 6
1.1 Гидрологические показатели как основа режима реки ... 6
1.2 Гидрохимические показатели и их природная обусловленность ... 13
1.3 Антропогенные факторы формирования качества воды ... 22
Выводы по первой главе ... 31
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ УВЕЛЬКА ... 33
2.1 Географическое положение и общая гидрография ... 33
2.2 Факторы формирования стока и гидрологический режим ... 38
2.3 Экономико-географическая характеристика района исследования ... 47
Выводы по второй главе ... 52
ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕКИ УВЕЛЬКА В РАЙОНЕ ГОРОДА ЮЖНОУРАЛЬСКА ... 54
3.1 Программа и методика исследований ... 54
3.2 Анализ гидрохимических параметров и оценка качества воды ... 58
3.3 Оценка антропогенной нагрузки на реку в районе города Южноуральска ... 67
Выводы по третьей главе ... 73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ... 75
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ... 77
ПРИЛОЖЕНИЯ ... 81

ВВЕДЕНИЕ

Водные объекты являются важнейшим компонентом окружающей среды, обеспечивающим хозяйственные, питьевые и рекреационные потребности населения. Малые реки, обладая незначительным объемом стока и ограниченной способностью к самоочищению, особенно чувствительны к техногенному воздействию. В условиях интенсивного хозяйственного освоения даже локальные источники загрязнения способны существенно изменить гидрохимический режим водотока, что делает мониторинг их состояния актуальной задачей экологического контроля.

Река Увелька, протекающая по территории Челябинской области, в полной мере испытывает на себе последствия такого воздействия. В пределах города Южноуральска она одновременно выполняет функции источника водоснабжения, приёмника сточных вод и технологического водоёма для энергетических объектов, что формирует уникальную по сложности антропогенную нагрузку. В районе исследования сосредоточены крупные энергетические объекты – Южноуральская ГРЭС-1, Южноуральская ГРЭС-2, а также городские очистные сооружения, промышленные предприятия, жилая застройка и сельскохозяйственные угодья.

Современная экологическая обстановка на исследуемом участке определяется комплексным воздействием нескольких факторов. ГРЭС обеих очередей использует Южноуральское водохранилище как пруд–охладитель: забор воды, её нагрев и последующий сброс обратно в реку, ведут к тепловому загрязнению, изменению кислородного режима и ускорению процессов эвтрофикации. Городские очистные сооружения, функционирующие в условиях изношенного оборудования и перегрузки, формируют устойчивый поток органических и биогенных поллютантов. Сельскохозяйственные угодья в бассейне реки добавляют диффузный сток биогенных элементов, особенно выраженный в периоды весеннего снеготаяния и осенней межени. Ливневый сток с городских территорий, дорог и промышленных площадок привносит в

воду нефтепродукты, взвешенные вещества и тяжёлые металлы. Перечисленные источники действуют не изолированно, а в совокупности, создавая кумулятивный эффект, при котором загрязняющие вещества оседают в донных отложениях и могут повторно поступать в воду даже при снижении текущих сбросов.

Среди всего спектра загрязнителей особого внимания заслуживают биогенные и органические вещества. Соединения азота, а также легкоокисляемые органические вещества, способны накапливаться в водной среде и приводить к дефициту кислорода, эвтрофикации водоёма и деградации водной экосистемы в целом.

Особую значимость исследованиям придаёт тот факт, что вода реки используется населением для хозяйственных нужд, а прибрежная зона – в рекреационных целях, вследствие чего качество воды влияет на условия проживания и здоровье местных жителей. В то же время, по данным государственного мониторинга вода реки Увелька относится к категории загрязнённых. Несмотря на очевидную экологическую напряжённость в зоне влияния Южноуральского промышленного узла, систематические данные о сезонной динамике гидрохимических показателей, полученные с учётом одновременного влияния обеих очередей ГРЭС и очистных сооружений города, остаются ограниченными.

Цель исследования: оценка гидрологических и гидрохимических параметров воды реки Увелька в районе города Южноуральска и анализ механизмов формирования её загрязнения.

Задачи исследования:

1. Изучить теоретические основы формирования гидролого-гидрохимических показателей и механизмы поступления загрязнителей.
2. Охарактеризовать физико-географические условия и основные факторы, определяющие состояние реки Увелька.

3. Оценить гидролого-гидрохимические параметры воды, сопоставить их с нормативами и установить возможные причины превышения.

Объект исследования: участок реки Увелька в пределах города Южноуральска Челябинской области

Предмет исследования: гидрологические характеристики и гидрохимические показатели качества воды.

Новизна исследования: новизна данной работы заключается в проведении оценки современных гидрологических и гидрохимических параметров реки Увелька в пределах города Южноуральска с учётом современных антропогенных нагрузок.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов для оценки экологического состояния реки Увелька и разработки рекомендаций по снижению антропогенной нагрузки. Материалы работы могут быть использованы органами местного самоуправления, природоохранными организациями и образовательными учреждениями при проведении экологического мониторинга и планировании мероприятий по охране водных ресурсов.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 90 страницах, содержит 9 рисунков и 17 таблиц. Список использованных источников включает в себя 41 наименование.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ ВОД

1.1 Гидрологические показатели как основа режима реки

Река представляет собой сложную природную систему, состояние которой описывается совокупностью количественных и качественных характеристик. Совокупность закономерных изменений состояния реки во времени называют её гидрологическим режимом, основу которого составляют гидрологические характеристики – измеряемые параметры, отражающие физическое состояние водного потока, которые делят на несколько групп [10].

К первой группе относятся характеристики водного режима, ключевыми из которых служат уровень и расход воды. Уровень воды (H) представляет собой высоту водной поверхности (см) над некоторой условной отметкой («нулём поста»). Нуль поста назначается таким образом, чтобы он располагался ниже самого низкого из возможных в данном створе уровней воды, что позволяет избежать отрицательных значений при измерениях. Систематические наблюдения за уровнем ведутся на гидрологических постах и служат первичной основой для всех последующих расчётов [30].

Расход воды (Q) – объём воды, протекающей через поперечное сечение русла в единицу времени ($м^3$/сек). Это наиболее информативная характеристика водности потока [10]. Расход воды вычисляется как произведение площади поперечного сечения русла на среднюю скорость течения в этом сечении. Непосредственное измерение расхода – технически сложная и трудоёмкая операция, поэтому на гидрологических постах такие измерения проводятся ограниченное число раз в год (от 4 до 15 измерений в разные фазы режима) [29].

Между уровнем и расходом воды существует тесная взаимосвязь. Как правило, колебания уровня следуют за колебаниями расхода и в значительной степени ими определяются. Эту зависимость выражают графически в виде

кривой расходов – функции Q = f(H), связывающей измеренные значения расхода и соответствующего ему уровня. Кривая строится по данным одновременных измерений расходов и уровней, охватывающих возможно более широкий диапазон изменения водности. Наличие такой кривой позволяет по ежедневным наблюдениям за уровнем воды рассчитывать ежедневные расходы, что даёт полную картину водности реки на протяжении всего года. Но однозначная связь между уровнем и расходом может нарушаться в периоды неустановившегося движения воды (например, во время быстрого подъёма или спада половодья), а также при изменении русла – размыве дна или зарастании его водной растительностью [8].

График изменения расхода воды во времени в конкретном створе реки называют гидрографом. Его форма наглядно отражает особенности водного режима реки и его сезонную изменчивость. На гидрографе отчётливо выделяются периоды повышенной водности (половодья и паводки) и периоды низкого стока (межень). Анализ гидрографов за многолетний период позволяет выявить типичные черты режима реки и оценить его изменчивость под влиянием климатических факторов и хозяйственной деятельности.

Важной характеристикой является объём стока (V) – количество воды ($м^3$), проносимое рекой через заданный створ за определённый промежуток времени, дающее представление об общей водоносности реки и её изменениях под влиянием естественных и антропогенных факторов [41].

Вторую группу показателей составляют характеристики теплового режима. Температура воды (T) – один из важнейших гидрологических показателей, влияющий на скорость химических реакций, растворимость газов и жизнедеятельность водных организмов [19]. От температуры зависят интенсивность процессов самоочищения, условия обитания гидробионтов, возможность использования воды для технических и хозяйственных нужд.

Термический режим реки формируется под влиянием теплообмена водной массы с атмосферой и ложем русла. К основным составляющим теплового баланса относят радиационный баланс (приход и расход лучистой

энергии солнца), турбулентный теплообмен с атмосферой, теплообмен с грунтовыми водами, выделение или поглощение теплоты при фазовых превращениях воды (замерзание и таяние). Соотношение этих составляющих меняется по сезонам года, что и определяет годовой ход температуры воды.

В условиях умеренного климата температура воды в реках испытывает выраженные сезонные изменения. Зимой под ледяным покровом она близка к 0°C, причём у дна температура может быть несколько выше за счёт поступления относительно тёплых подземных вод. В тёплое время года температура воды изменяется вслед за температурой воздуха, но с некоторым запаздыванием. Максимальная летняя температура воды обычно на 4–6°C ниже максимальной температуры воздуха, что объясняется расходом значительной части солнечной энергии на испарение, а не на нагрев водной массы. Средняя годовая температура воды в реках оказывается заметно выше среднегодовой температуры воздуха, что связано с отсутствием отрицательных значений температуры воды в зимний период.

Помимо сезонных наблюдаются и суточные колебания температуры воды: минимальная температура фиксируется в утренние часы, максимальная – в 15–17 часов. На крупных реках суточная амплитуда обычно не превышает 1–2°C, тогда как на малых реках она может быть значительно выше, что связано с меньшей тепловой инерцией малых водотоков, быстрее реагирующих на изменения погодных условий [10].

Температура воды оказывает прямое влияние на содержание растворённого кислорода: с её повышением растворимость газов в воде снижается. Так, при температуре 0°C максимальное содержание кислорода в пресной воде составляет около 14,6 мг/дм^3, а при 25°C – лишь 8,3 мг/дм^3. Это означает, что тёплые воды всегда беднее кислородом, чем холодные, что необходимо учитывать при оценке экологического состояния [24].

Особого внимания заслуживает тепловое загрязнение – повышение температуры воды в результате сброса подогретых вод промышленными предприятиями и тепловыми электростанциями. Оно изменяет естественный

термический режим реки на значительном протяжении ниже источника сброса. В таких зонах наблюдается ускорение химических и биохимических процессов, снижение концентрации растворённого кислорода, активизации процессов эвтрофикации и изменение видового разнообразия водных организмов. Сброс тёплых вод препятствует формированию устойчивого ледяного покрова, что ведёт к образованию незамерзающих полыней и нарушению естественного хода ледовых явлений [1].

Третью группу составляют характеристики ледового режима. Для рек умеренного климатического пояса характерно ежегодное замерзание и вскрытие ледяного покрова. Ледовый режим реки тесно связан с термическим и оказывает существенное влияние на все гидрологические и гидрохимические процессы в зимний период. В нём выделяют три характерных периода: замерзание (осенние ледовые явления), ледостав и вскрытие (весенние ледовые явления) [8].

Период замерзания начинается при переходе среднесуточной температуры воздуха через 0°С в сторону отрицательных значений. Охлаждение водной массы происходит главным образом за счёт турбулентного теплообмена с холодным воздухом. Начальная фаза замерзания характеризуется появлением сала – плывущей ледяной плёнки, состоящей из тонких кристаллических игл льда. Салом покрываются в первую очередь участки с замедленным течением – плёсы, затоны [29].

Почти одновременно у берегов, где глубины и скорости течения меньше, формируются забереги – узкие полосы неподвижного льда. По мере дальнейшего охлаждения водной массы в ней, особенно на участках с быстрым течением и в придонных слоях, образуется внутриводный лёд – губчатая непрозрачная масса из хаотически сросшихся ледяных кристаллов. Скопления внутриводного льда, всплывающие на поверхность, формируют шугу – рыхлые комья льда различной формы и размеров. Движение шуги и отдельных льдин вниз по течению реки называют шугоходом. При дальнейшем понижении температуры воздуха шуга постепенно смерзается в

отдельные льдины, и начинается осенний ледоход. Продолжительность осеннего ледохода может составлять от нескольких дней до нескольких недель в зависимости от размеров реки и интенсивности похолодания [8].

Ледостав – период существования сплошного неподвижного ледяного покрова. Он наступает, когда плывущие льдины останавливаются у кромки уже сформировавшегося ледяного поля и смерзаются друг с другом [30]. Процесс формирования ледостава идёт от берегов к середине реки и от верховьев к низовьям. Толщина ледяного покрова в течение зимы постепенно нарастает и зависит от суммы отрицательных температур воздуха, высоты снежного покрова на льду, а также от притока тепла из донных отложений и подземных вод. Наибольшей толщины лёд достигает к концу зимы, перед началом весеннего потепления [10].

На многих реках в период ледостава сохраняются полыньи – участки русла, не замерзающие в течение всей зимы или части зимы. Причинами образования полыней могут быть высокие скорости течения, препятствующие смерзанию льдин (динамические полыньи), либо выход относительно тёплых подземных вод и поступление промышленных стоков (термические полыньи). Наличие полыней существенно изменяет кислородный режим реки зимой, поскольку через открытую поверхность продолжается поступление кислорода из атмосферы. В то же время полыньи, образованные сбросом теплых промышленных вод, могут свидетельствовать о серьёзном тепловом загрязнении водотока [13].

Период вскрытия реки начинается с наступлением положительных температур воздуха и поступлением талых вод на поверхность ледяного покрова. У берегов, где лёд прогревается быстрее, формируются закраины – полосы открытой воды. Талая вода, стекающая по поверхности льда, размывает его и способствует образованию трещин и промоин. Повышение уровня воды, вызванное поступлением талых вод с водосбора, оказывает на лёд механическое давление: лёд взламывается, приходит в движение. Сначала происходят небольшие подвижки ледяных полей, затем ледяной покров

разбивается на отдельные льдины различного размера, и начинается весенний ледоход. Интенсивность ледохода зависит от дружности весны, количества накопленного за зиму снега и морфометрических особенностей русла [29].

На реках, текущих с юга на север, весенний ледоход нередко сопровождается заторами – скоплениями льдин в местах сужения русла, на крутых поворотах или у островов. Заторы вызывают резкий подъём уровня воды, что может приводить к наводнениям и разрушению берегов. После прохождения ледохода и очищения русла ото льда река переходит к состоянию, характерному для периода открытой воды [10].

Четвертая группа показателей относится к фазам водного режима. Годовой цикл водного режима рек закономерно подразделяется на три основные фазы: половодье, паводки и межень. Каждая из этих фаз характеризуется определённым соотношением источников питания, уровневым и расходным режимом, а также специфическими гидрохимическими условиями [30].

Половодье – это ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон относительно длительное увеличение водности реки, сопровождающееся значительным подъёмом уровня воды и часто выходом вод из меженного русла на пойму. Продолжительность половодья и его интенсивность зависят от климатических условий, рельефа бассейна и характера подстилающей поверхности. Для большинства рек умеренного климатического пояса, в том числе для рек Южного Урала, характерно весеннее половодье, формирующееся за счёт таяния накопленного за зиму снежного покрова [7]. На эту фазу может приходиться от 50 до 90% годового объёма стока. Весеннее половодье имеет огромное экологическое значение: высокие воды промывают русло, выносят накопившиеся за зиму загрязнения, насыщают воду кислородом за счёт турбулентного перемешивания. В то же время именно в половодье происходит интенсивный смыв загрязняющих веществ с поверхности водосбора, что может приводить к резкому ухудшению качества воды по отдельным показателям [40].

Паводок – сравнительно кратковременное и непериодическое поднятие уровня воды, вызываемое интенсивными дождями или резким таянием снега во время оттепелей. В отличие от половодья, паводки могут возникать в любое время года и не имеют строгой сезонной приуроченности. Интенсивность паводка зависит от количества и интенсивности осадков, а также от предшествующей увлажнённости водосбора. Несколько следующих друг за другом паводков способны сформировать волну половодья. Паводки играют двоякую роль в жизни реки: с одной стороны, они способствуют обновлению реки и взмучиванию донных отложений, с другой – могут вызвать разрушительные наводнения и резкое ухудшение качества воды из-за поступления загрязнителей с поверхностным стоком [10].

Межень – сезонное стояние низких (меженных) уровней воды продолжительностью не менее десяти суток. В этот период водность реки поддерживается преимущественно подземным питанием при значительном сокращении или полном прекращении поверхностного стока [12]. Подземные воды, дренируемые руслом реки, имеют относительно стабильный химический состав и температуру, поэтому в меженный период гидрохимический режим реки в значительной степени отражает состав подземных вод зоны активного водообмена. В условиях умеренного климата выделяют летне-осеннюю межень (связанную с сухой погодой и высоким испарением) и зимнюю межень (обусловленную накоплением осадков в виде снега и промерзанием почв) [7].

Продолжительность и глубина межени определяется климатическими условиями, геологическим строением бассейна и степенью его залесенности. В меженные периоды река наиболее уязвима к антропогенному воздействию, поскольку ограниченный объём стока резко снижает её способность к разбавлению поступающих загрязнителей. В этот период даже относительно небольшие по объёму сбросы сточных вод могут привести к значительному превышению предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, что особенно актуально для малых рек [27].

1.2 Гидрохимические показатели и их природная обусловленность

Химический состав природных вод формируется под совокупным влиянием физико-географических условий водосбора, геологического строения территории, климатических факторов и биологических процессов, протекающих в самой водной среде [31]. Вся история формирования химического облика речной воды начинается с момента выпадения атмосферных осадков. Проходя через атмосферу, дождевые и снеговые воды обогащаются растворёнными газами – кислородом и диоксидом углерода – и получают первый, пусть и незначительный, импульс минерализации за счёт растворения аэрозолей и пылевых частиц. Однако основное преобразование химического состава происходит при контакте воды с поверхностью земли. Стекая по склонам и фильтруясь через почвенные горизонты, вода превращается в активный растворитель: углекислый газ, захваченный из атмосферы и почвенного воздуха, переводит труднорастворимые карбонаты кальция и магния в хорошо растворимые гидрокарбонаты, а длительный контакт с горными породами обогащает воду сульфатами, хлоридами и другими солями [12].

Итогом этих сложных взаимодействий становится формирование макрокомпонентного состава воды, который более чем на 95 % определяется шестью главными ионами. Три аниона – гидрокарбонаты (HCO_3^-), сульфаты (SO_4^{2-}) и хлориды (Cl^-) – и три катиона – кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}) и натрий с калием ($Na^+ + K^+$) – создают солевой фон водного объекта [2]. Соотношение этих ионов позволяет отнести воду к определённому гидрохимическому типу. Так, воды, в которых среди анионов преобладает гидрокарбонат-ион, а среди катионов – кальций, относят к гидрокарбонатно-кальциевому типу – наиболее распространённому в реках умеренного пояса, включая водотоки Южного Урала.

Суммарное содержание всех растворённых минеральных веществ (мг/дм^3) называют минерализацией воды. По этому показателю природные

воды подразделяются на категории, характеристика которых приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация природных вод по величине минерализации

Категория воды	Минерализация, мг/дм^3	Характерные объекты
Пресные	до 1,0	Большинство рек
Солоноватые	1,0–25,0	Некоторые реки степной зоны, минерализованные озёра
Солёные	25,0–50,0	Морская вода, некоторые озёра
Рассолы	свыше 50,0	Подземный воды глубоких горизонтов, солёные озёра

Большинство рек мира, в том числе река Увелька, относятся к категории пресных, однако их минерализация непостоянна и чутко реагирует на смену гидрологических сезонов. Сезонная динамика минерализации речных вод подчиняется универсальной закономерности. В период весеннего половодья, когда питание реки осуществляется преимущественно за счёт талых снеговых вод, обеднённых солями, минерализация достигает своего годового минимума – порядка 200–300 мг/дм^3. По мере спада половодья и перехода реки на грунтовое питание, доля которого возрастает до 40–50 % в летне-осеннюю межень и почти до 100 % зимой, минерализация закономерно повышается, достигая в межень 600–800 мг/дм^3 и более [40].

С минерализацией тесно связано понятие жёсткости воды – свойства, обусловленного присутствием катионов кальция и магния. Жёсткость подразделяется на общую, карбонатную (временную) и некарбонатную (постоянную). Для рек, протекающих в лесостепной зоне Южного Урала, характерны значения общей жёсткости, изменяющиеся от 2–4 мг-экв/дм^3 в половодье до 6–8 мг-экв/дм^3 в зимнюю межень, что позволяет отнести эти воды к категории вод с повышенной жёсткостью. Данные о классификации вод по величине жёсткости представлены в таблице 2 [2].

Каждый гидрологический сезон формирует свой, особый гидрохимический облик реки, который необходимо учитывать при планировании мониторинга и оценке антропогенной нагрузки.

Таблица 2 – Классификация природных вод по величине общей жёсткости

Категория воды	Общая жёсткость, мг-экв/дм^3	Характеристика
Очень мягкая	до 1,5	Атмосферные осадки, воды некоторых северных рек
Мягкая	1,5–3,0	Многие реки лесной зоны
Средней жёсткости	3,0–6,0	Реки лесостепной зоны, в том числе река Увелька в половодье
Жёсткая	6,0–9,0	Реки степной зоны, река Увелька в межень
Очень жёсткая	свыше 9,0	Подземные воды известняковых массивов, некоторые озёра

Важную роль в формировании качества воды играют растворённые газы, среди которых первостепенное значение имеют кислород (O_2) и диоксид углерода (CO_2). История растворённого кислорода в речной воде – процесс непрерывного баланса между его поступлением и расходованием. Кислород попадает в воду двумя основными путями: инвазия из атмосферы, интенсивность которой возрастает при турбулентном перемешивании водных масс на перекатах и при ветровом волнении, и фотосинтез водной растительности. Расходуется кислород на дыхание гидробионтов и, что особенно важно при оценке загрязнения, на биохимическое окисление органических веществ. [25]

С повышением температуры воды растворимость кислорода снижается в соответствии с законом Генри: при 0°С максимально возможная концентрация составляет около 14,6 мг/дм^3, при 20°С – 9,1 мг/дм^3, а при 25°С – 8,3 мг/дм^3. Эта физическая закономерность объясняет, почему тёплые воды всегда беднее кислородом, чем холодные, и почему тепловое загрязнение рек представляет двойную угрозу: сброс подогретых вод не только непосредственно снижает содержание кислорода, но и ускоряет процессы его биохимического потребления.

Содержание кислорода в речной воде подвержено выраженным суточным и сезонным колебаниям. В дневные часы, благодаря фотосинтезу, концентрация кислорода растёт, достигая максимума к вечеру; ночью, когда фотосинтез прекращается, а дыхание организмов продолжается, она

снижается, достигая минимума в предрассветные часы. Сезонный максимум обычно приурочен к весеннему половодью, когда холодные талые воды активно насыщаются кислородом при бурном перемешивании на перекатах. Минимум чаще всего наблюдается в конце лета, когда высокая температура воды и обилие органики, накопленной за тёплый период, создают условия для интенсивного потребления кислорода.

Нормативные требования к гидрохимическим показателям достаточно жёсткие и зависят от категории водопользования (таблица 3). Падение концентрации кислорода ниже пороговых значений служит сигналом экологического неблагополучия и развития процессов эвтрофикации [15, 16, 32, 35, 36].

Таблица 3 – Предельно допустимые концентрации основных гидрохимических показателей для водоёмов различного назначения

Показатель	ПДК для водоёмов назначения		
	питьевого	рыбо-хозяйственного	культурно-бытового
Растворённый O_2, мг/дм^3	Не менее 4,0	Не менее 6,0	Не менее 4,0
Перманганатная окисляемость, мгО/дм^3	5,0	7,0	7,0
N/NH_4^+, мг/дм^3	1,5	0,4	1,5
N/NO_2^- мг/дм^3	3,0	0,02	3,0
N/NO_3^- мг/дм^3	45,0	9,0	45,0
pH, ед	6,0 – 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Fe общее, мг/дм^3	0,3	0,1	0,3
Cu^{2+}, мг/дм^3	1,0	0,001	1,0
Zn^{2+}, мг/дм^3	5,0	0,01	5,0
Mn^{2+}, мг/дм^3	0,1	0,01	0,1

С кислородным режимом тесно связан и углеродный баланс речной воды. Диоксид углерода присутствует в ней не только в виде растворённого газа, но и как угольная кислота (H_2CO_3), гидрокарбонат-ионы (HCO_3^-) и карбонат-ионы (CO_3^{2-}). Соотношение этих форм, называемое карбонатным равновесием, зависит от pH воды и во многом определяет её буферные свойства – способность противостоять изменению активной реакции среды. Основным источником CO_2 в реках служат биохимическое окисление органических веществ, дыхание гидробионтов и приток подземных вод,

обогащённых углекислотой за счёт разложения органики в почвенных горизонтах. В периоды интенсивного фотосинтеза, когда водная растительность активно поглощает растворённый CO_2, карбонатное равновесие смещается, и pH воды может повышаться до 9–10.

Показатель pH, характеризующий активную реакцию среды, является одним из наиболее информативных интегральных параметров качества воды. Для большинства природных вод значения pH лежат в диапазоне 6,5–8,5, что соответствует нейтральной или слабощелочной среде. Суточная и сезонная динамика pH тесно связана с фотосинтетической активностью фитопланктона и процессами разложения органики. В дневные часы, когда потребление CO_2 водорослями максимально, pH растёт, а ночью, когда над фотосинтезом начинает преобладать процесс дыхания и выделением CO_2 – снижается. Зимой, под ледяным покровом, прекращение газообмена с атмосферой и накопление CO_2 за счёт разложения органики в донных отложениях может приводить к подкислению воды, особенно в непроточных и слабопроточных водоёмах [31].

Присутствие в воде органических веществ – ещё одна важная характеристика её химического состава. Органика попадает в реки естественным путём (почвенный гумус, продукты разложения растительных остатков, метаболиты гидробионтов) и в результате хозяйственной деятельности. Прямое количественное определение всех органических соединений, присутствующих в воде, технически сложно из-за их огромного разнообразия, поэтому на практике пользуются косвенными методами, основанными на окислении органики химическими реагентами [17].

Одним из таких методов является определение перманганатной окисляемости (ПО) – показателя, характеризующего содержание легкоокисляемых органических веществ. Метод Кубеля, с помощью которого определяется ПО, основан на окислении органических соединений перманганатом калия в сернокислой среде при кипячении. Результат выражают в миллиграммах атомарного кислорода, эквивалентного количеству израсходованного окислителя (мгО/дм^3). В незагрязнённых речных водах

величина ПО обычно не превышает 5–6 мгО/дм^3; значения выше 10 мгО/дм^3 указывают на повышенное содержание органики [37].

Более полную характеристику даёт биохимическое потребление кислорода (БПК) – количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление органических веществ за определённый промежуток времени. Наиболее распространённым является показатель $БПК_5$ – потребление кислорода за 5 суток инкубации при температуре 20°C в темноте. Ещё один важный показатель – химическое потребление кислорода (ХПК), который характеризует общее содержание в воде органических веществ, окисляемых сильным химическим окислителем (бихроматом калия). Сопоставление величин ПО, БПК и ХПК позволяет судить о природе органического загрязнения и его доступности для биохимического окисления.

Повышенное содержание органических веществ в воде запускает каскад негативных последствий. Интенсивное потребление кислорода на их окисление ведёт к формированию зон гипоксии, особенно в придонных слоях и в зимний период под ледяным покровом. Ухудшаются органолептические свойства воды – появляются посторонние запахи, привкусы, цветность. Ускоряются процессы эвтрофикации, сопровождающиеся бурным развитием водорослей и накоплением органических илов в донных отложениях. Последние становятся источником вторичного загрязнения: при дефиците кислорода из них начинают выделяться в воду накопленные ранее биогенные элементы и токсичные продукты анаэробного разложения [18].

Среди продуктов разложения органических веществ особого внимания заслуживают биогенные элементы – азот и фосфор, которые в природных водах обычно находятся в минимальных концентрациях, однако именно они часто лимитируют развитие водной растительности и микроорганизмов. Соединения азота претерпевают в водной среде сложную цепь превращений, каждое звено которой имеет самостоятельное индикаторное значение. Характеристика различных форм азота и их индикаторная роль представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристика форм азота в природных водах и их индикаторное значение

Форма азота	Происхождение в воде	Индикаторное значение
Аммонийный, NH_4^+	Разложение белков, мочевины, хозяйственно-бытовые стоки	Свежее органическое загрязнение
Нитритный, NO_2^-	Окисление аммония бактериями Nitrosomonas	Незавершённая нитрификация, активное самоочищение
Нитратный, NO_3^-	Окисление нитритов бактериями Nitrobacter, смыв удобрений	Давнее загрязнение или сельскохозяйственный смыв

Первичным продуктом разложения белков, аминокислот и мочевины является аммонийный азот. Его повышенное содержание в воде рассматривается как признак свежего органического загрязнения, поскольку процессы окисления аммония ещё не дошли до конца. Далее, под действием бактерий – нитрификаторов рода Nitrosomonas, аммонийный азот окисляется до нитритной формы. Нитриты представляют собой промежуточную, термодинамически неустойчивую форму: в хорошо аэрируемых водах они достаточно быстро окисляются, поэтому их накопление свидетельствует об активно идущем, но незавершённом процессе нитрификации. Конечным продуктом окисления служит нитратный азот, образующийся под воздействием бактерий рода Nitrobacter. Нитраты – основная форма азота, усваиваемая водной растительностью; их высокие концентрации могут быть следствием как полного окисления ранее поступившего аммонийного азота (давнее органическое загрязнение), так и смыва минеральных удобрений с сельскохозяйственных угодий [31].

Соотношение концентраций трёх форм азота – аммонийной, нитритной и нитратной – служит своеобразной «летописью» загрязнения, позволяя реконструировать его давность и интенсивность. Если в воде преобладают ионы аммония, это свидетельствует о свежем характере загрязнений и начальных стадиях самоочищения воды. Если велика доля нитритов, нитрификация идёт активно, но ещё не завершена. Преобладание нитратов при низких концентрациях аммонийной и нитритной форм говорит о том, что загрязнение ранее имело место, а в настоящее время завершается окисление

азота. Схема усложняется в реальных условиях непрерывного поступления сточных вод, когда все формы могут присутствовать одновременно.

Помимо процессов окисления, в круговороте азота участвует и противоположно направленный процесс – денитрификация, восстановление нитратов до молекулярного азота (N_2), который покидает водную среду и возвращается в атмосферу. Денитрификация протекает в анаэробных условиях, характерных для донных отложений и застойных зон, и выполняет важную санитарную функцию, способствуя естественному освобождению водоёма от избытка связанного азота.

Фосфор – второй по значимости биогенный элемент, присутствующий в воде в виде минеральных фосфатов (PO_4^{3-}) и органических фосфорсодержащих соединений. Его поступление связано как с природными процессами (выветривание фосфорсодержащих минералов), так и с антропогенными источниками – хозяйственно-бытовыми стоками, содержащими моющие средства, и смывом удобрений с полей. Фосфор часто выступает в роли ключевого элемента, лимитирующего первичную продукцию водных экосистем, поэтому его дополнительное поступление резко ускоряет эвтрофикацию водоёмов [23].

Особую группу гидрохимических показателей составляют тяжёлые металлы – медь, цинк, марганец, свинец, кадмий, никель и другие. В природные воды они попадают в результате выветривания горных пород, вулканической деятельности и почвообразовательных процессов. В фоновых концентрациях многие из них (медь, цинк, марганец) являются необходимыми микроэлементами для гидробионтов, однако при превышении определённых порогов становятся токсичными. Особенность тяжёлых металлов заключается в их способности накапливаться в донных отложениях и включаться в трофические цепи, создавая долговременную угрозу для водных экосистем и здоровья человека.

Нормативы содержания тяжёлых металлов, как и других гидрохимических показателей, дифференцированы в зависимости от

категории водопользования. Их сопоставление показывает, что наиболее жёсткие требования предъявляются к водоёмам рыбо-хозяйственного назначения. Например, предельно допустимая концентрация меди для рыбо-хозяйственных водоёмов составляет 1 мкг/дм^3, что в 1000 раз ниже, чем для водоёмов хозяйственно-питьевого назначения. Аналогичная картина наблюдается по цинку (1 мкг/дм^3 против 5,0 мг/дм^3) и марганцу (10 мкг/дм^3 против 100 мкг/дм^3). Это объясняется высокой чувствительностью водных организмов, особенно на ранних стадиях развития, к токсическому действию металлов даже в микроконцентрациях.

Содержание в воде взвешенных веществ также относится к числу важных гидрохимических показателей. Взвешенные вещества представляют собой твёрдые частицы минерального и органического происхождения, находящиеся во взвешенном состоянии. Их повышенное содержание приводит к снижению прозрачности воды, ухудшению условий фотосинтеза, заилению нерестилищ и непосредственному механическому воздействию на жабры рыб. Кроме того, взвешенные частицы служат переносчиками адсорбированных на их поверхности тяжёлых металлов и других загрязнителей.

Цветность воды обусловлена присутствием растворённых органических веществ (гуминовых и фульвокислот), а также соединений железа и марганца. Она измеряется в градусах платиново-кобальтовой или хромово-кобальтовой шкалы и является важным органолептическим показателем. Высокая цветность не только ухудшает эстетические свойства воды, но и может свидетельствовать о значительном поступлении органики с болотных массивов или торфяников, расположенных в бассейне реки.

Пространственно-временная изменчивость гидрохимических показателей подчиняется сложному переплетению природных ритмов и антропогенных воздействий. Сезонная динамика, как уже отмечалось, определяется сменой источников питания и температурным режимом. Весной, в половодье, реки несут слабоминерализованные, богатые кислородом воды с

пониженным содержанием биогенных элементов. Летом и осенью, по мере прогревания водной массы и перехода на грунтовое питание, минерализация и концентрации биогенов возрастают, а содержание кислорода, напротив, снижается. Зимой, под ледяным покровом, в условиях прекращения газообмена с атмосферой и замедления окислительных процессов может происходить накопление соединений аммония, а в неблагоприятных случаях – появление сероводорода.

Пространственная динамика проявляется в изменении химического состава воды по мере продвижения от истока к устью. В верхнем течении реки, где площадь водосбора невелика и преобладают процессы выщелачивания горных пород, вода обычно имеет наименьшую минерализацию и преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав. Ниже по течению, по мере увеличения водосборной площади и поступления притоков, дренирующих различные по составу почвы и породы, минерализация возрастает, а в ионном составе увеличивается доля сульфатов и хлоридов. Однако в современных условиях естественная пространственная динамика часто оказывается замаскированной или полностью нарушенной антропогенным воздействием – сбросами промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, поверхностным стоком с урбанизированных и сельскохозяйственных территорий.

1.3 Антропогенные факторы формирования качества воды

В условиях интенсивного освоения водосборов антропогенные факторы не просто накладываются на естественный гидрохимический фон, но зачастую полностью его трансформируют, создавая качественно новый, техногенно обусловленный режим водного объекта [33]. Масштаб этих изменений таков, что многие исследователи говорят о формировании особой категории «урбанизированных водных объектов», гидрохимический режим которых определяется уже не столько природными условиями водосбора, сколько

характером и интенсивностью хозяйственной деятельности на его территории [1].

Все антропогенные источники воздействия на качество речных вод принято разделять на две группы, критерием отнесения к которым служит характер поступления загрязнителей. Первая группа – точечные (сосредоточенные) источники, характеризующиеся локализованным выпуском сточных вод в конкретное место водного объекта через трубу или канал: промышленные предприятия, тепловые электростанции, городские очистные сооружения, выпуски ливневой канализации. Вторая группа – диффузные (рассредоточенные) источники, не имеющие чётко выраженной точки сброса. От них загрязнение поступает в реку с обширной территории через поверхностный сток и грунтовые воды. Их типичные примеры – сельскохозяйственные угодья, с которых смываются удобрения и пестициды, городские территории, поставляющие нефтепродукты и тяжёлые металлы с ливневыми водами, атмосферные выпадения [40].

Соотношение и пространственное размещение этих источников удобно проследить на примере конкретной территории. На рисунке 1 представлена карта-схема района исследований, построенная в программе ГИС Аксиома. На ней обозначены основные объекты, формирующие антропогенную нагрузку на реку Увелька в черте города Южноуральска и его окрестностей. Среди точечных источников на схеме выделены площадки ЮуГРЭС-1 и ЮуГРЭС-2, шлакоотстойники, а также городские очистные сооружения ниже по течению. К диффузным источникам относятся обширные массивы пашен, протянувшиеся вдоль левобережья реки. Здесь же показано Южноуральское водохранилище – ключевой элемент, определяющий гидрологический режим исследуемого участка. Как видно из схемы, обе группы источников располагаются в непосредственной близости друг от друга и от русла реки. Их совокупное влияние на водный объект оказывается значительно сложнее, чем простая сумма отдельных воздействий.

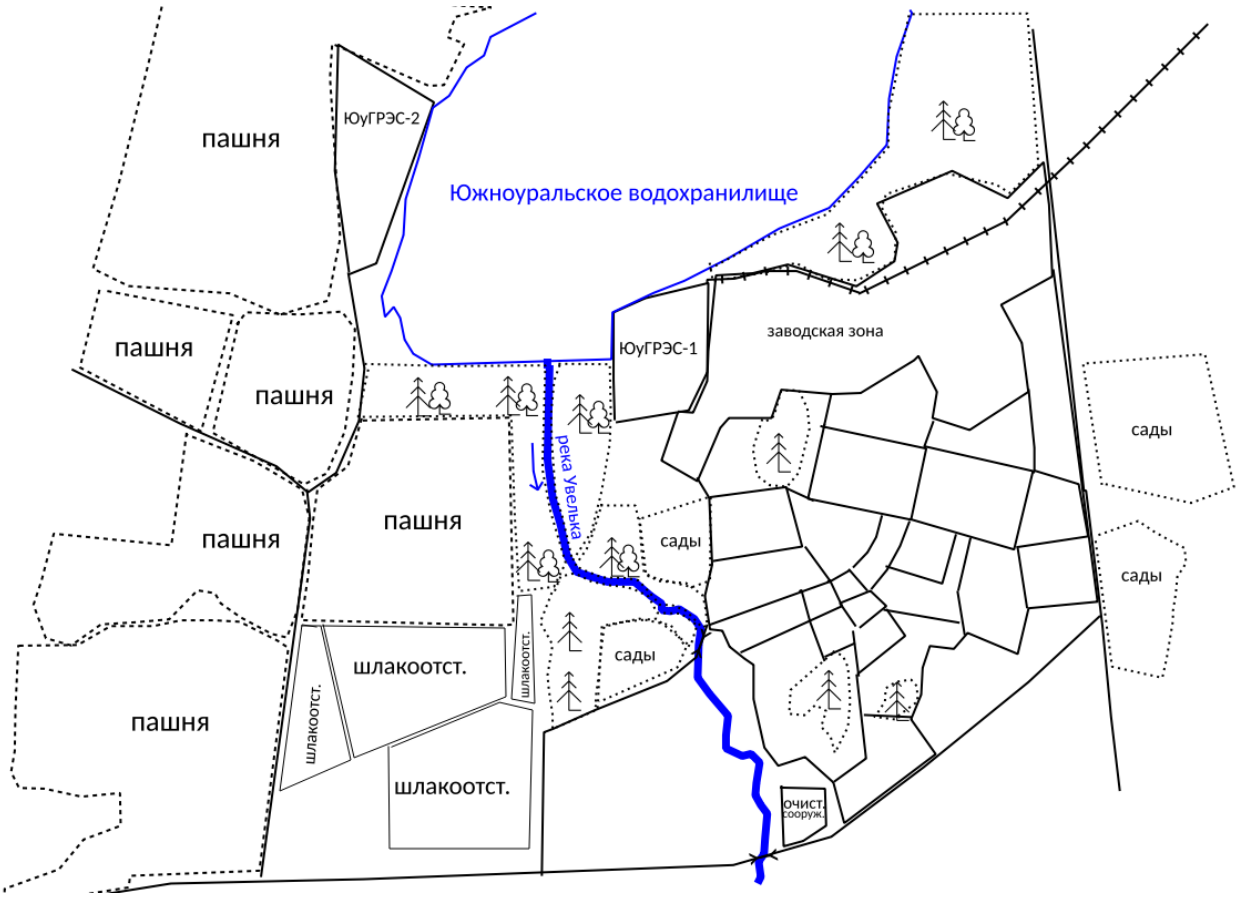


Рисунок 1 – Карта-схема расположения основных источников антропогенной нагрузки на реку Увелька в районе города Южноуральска

Условные обозначения

Железные дороги
Дороги
Река
Мосты
Сосновый лес
Смешанный лес

Среди всего многообразия антропогенных факторов, формирующих гидрохимический режим рек, промышленное воздействие традиционно рассматривается как одно из наиболее мощных, особенно в регионах с развитой горнодобывающей, металлургической и энергетической промышленностью. Одним из специфичных видов такого воздействия является тепловое загрязнение, связанное со сбросом подогретых вод тепловыми и атомными электростанциями. Механизм этого явления

заключается в том, что вода забирается из реки или водохранилища для охлаждения технологического оборудования, проходит через теплообменники, нагреваясь на 8–12°C, и возвращается обратно в водный объект [1]. Экологические последствия такого сброса многоплановы и затрагивают практически все компоненты водной экосистемы. Повышение температуры воды запускает цепь взаимосвязанных процессов: снижается растворимость кислорода – при повышении температуры с 10 до 25°C равновесная концентрация O_2 падает почти на треть. Одновременно с этим ускоряются все химические и биохимические реакции (по правилу Вант-Гоффа, при повышении температуры на каждые 10°C скорость большинства реакций возрастает в 2–4 раза), что ведёт к более интенсивному потреблению кислорода. В тёплой воде активизируется жизнедеятельность микроорганизмов, ускоряются процессы нитрификации, усиливается эвтрофикация. Тепловое загрязнение меняет ледовый режим реки: ниже точки сброса подогретых вод формируется зона, где ледяной покров не устанавливается даже в самые суровые зимы, что перестраивает экосистему, создавая условия, несвойственные для рек умеренного пояса.

Не менее значимо химическое загрязнение промышленными стоками, состав которых варьирует в широких пределах в зависимости от отрасли. Тяжёлые металлы – медь, цинк, свинец, марганец, никель, кадмий, хром – поступают в реки со стоками металлургических, машиностроительных и горно-обогатительных производств. Даже после прохождения очистных сооружений остаточные концентрации этих элементов могут превышать ПДК, особенно если речь идёт о рыбо-хозяйственных нормативах. Попадая в реку, значительная часть металлов связывается с взвешенными частицами и оседает на дно в местах с замедленным течением, формируя в донных отложениях своеобразное «депо» загрязнителей, которое может хранить их годами и десятилетиями. Однако при изменении гидрохимических условий – снижении pH, падении содержания кислорода, повышении температуры – связанные металлы способны переходить обратно в водную фазу, вызывая вторичное

загрязнение реки. Именно этим механизмом объясняются случаи, когда качество воды остаётся неудовлетворительным после прекращения сбросов. Помимо тяжёлых металлов, промышленные стоки нередко содержат нефтепродукты, образующие на поверхности воды маслянистую плёнку, нарушающую газообмен с атмосферой, а также специфические органические соединения – фенолы, поверхностно-активные вещества, формальдегид, придающие воде неприятный запах и привкус даже в малых концентрациях.

С промышленным воздействием ГРЭС тесно сопряжена экологическая проблема – наличие шлакоотстойников, представляющих собой долговременный источник потенциального загрязнения водной среды. В 2,5 км к юго-западу от площадки ГРЭС-1 и в 3,8 км к югу от ГРЭС-2 расположены шлаконакопители, где складируются отходы, образующиеся при сжигании угля и очистке сточных вод. Основная опасность этих сооружений связана не с прямым переливом через край, а с фильтрацией: даже при соблюдении проектных требований вода с растворёнными токсичными компонентами просачивается через ложе отстойников в грунтовые воды, которые, в свою очередь, гидравлически связаны с руслом реки Увельки. Фильтрационный поток способен транспортировать в реку широкий спектр поллютантов – сульфаты, хлориды, соединения марганца, цинка, свинца, остаточные нефтепродукты и фенолы. В отличие от прямых сбросов, которые можно оперативно контролировать, фильтрация из шлакоотстойников формирует растянутый во времени процесс загрязнения, который может продолжаться десятилетиями даже после прекращения эксплуатации отстойника. В условиях, когда река уже испытывает тепловую и химическую нагрузку от действующих ГРЭС, поступление дополнительных загрязнителей из шлаконакопителей усугубляет экологическую обстановку, способствуя накоплению тяжёлых металлов в донных отложениях и формированию очагов устойчивого загрязнения.

Параллельно с промышленностью свой вклад в загрязнение речных вод вносит коммунально-бытовой сектор, причём по масштабу воздействия он

часто сопоставим с промышленным, а в ряде случаев и превосходит его. Городские очистные сооружения, даже работающие в штатном режиме, не обеспечивают полного удаления всех загрязнителей, а в условиях изношенного оборудования, перегрузки и применения устаревших технологий очистки ситуация усугубляется многократно [25]. Основными компонентами хозяйственно-бытовых стоков являются органические вещества, биогенные элементы – соединения азота и фосфора, синтетические поверхностно-активные вещества, а также патогенные микроорганизмы. В отличие от промышленных стоков, объём и состав которых могут варьировать в зависимости от производственного цикла, поступление хозяйственно-бытовых вод от населения достаточно постоянно, что создаёт устойчивый, хронический фон загрязнения, который река испытывает круглогодично. Наибольшую опасность в этом потоке представляет аммонийный азот – индикатор свежего органического загрязнения, концентрации которого ниже выпуска городских очистных сооружений могут в десятки раз превышать фоновые значения. Не менее серьёзную проблему создаёт фосфор, поступающий главным образом из моющих средств: в отличие от азота, который в процессе денитрификации может покидать водную систему в газообразной форме, фосфор не имеет такого механизма выведения и накапливается в экосистеме, резко ускоряя эвтрофикацию. Ситуация осложняется тем, что многие очистные сооружения, особенно в небольших городах, были построены несколько десятилетий назад и проектировались на иные объёмы и состав сточных вод, а периодические аварийные сбросы неочищенных стоков, связанные с прорывами сетей или перегрузкой системы во время интенсивных дождей, добавляют к хроническому загрязнению ещё и залповые поступления [23].

К коммунально-бытовому воздействию тесно примыкает рекреационная нагрузка – фактор, значение которого нередко недооценивается при анализе антропогенного влияния на водные объекты. Для реки Увелька этот вид воздействия приобретает особую актуальность в связи с размещением на

правом берегу Южноуральского водохранилища двух баз отдыха, инфраструктура которых создаёт дополнительный, хотя и локализованный, поток загрязнителей. На территории обеих баз оборудованы мангальные зоны и бани, отапливаемые дровами, что формирует поступление в воду органических загрязнителей – золы, углей, остатков пищевых продуктов – с поверхностным стоком и при сбросе использованной воды. База отдыха «Звёздный берег» функционирует как круглогодичный загородный комплекс с летним рестораном и пирсом, имеющим прямой выход к акватории водохранилища. Проведение банкетов и массовых мероприятий на берегу сопряжено с поступлением в воду остатков пищи, напитков, синтетических моющих средств, используемых для мытья посуды и уборки помещений, а также бытового мусора, часть которого неизбежно оказывается в воде. Наличие катеров и других плавательных средств добавляет в перечень потенциальных загрязнителей нефтепродукты – проливы топлива при заправке, утечки масла из двигателей, компоненты выхлопных газов. Рекреационная нагрузка носит ярко выраженный сезонный характер с пиком в тёплое время года и накладывается на уже существующий фон хронического загрязнения, создаваемого промышленными и коммунальными стоками, дополнительно обостряя ситуацию именно в тот период, когда река наиболее активно используется населением для отдыха.

Ещё одним значимым, но принципиально иным по механизму действия источником загрязнения выступает сельское хозяйство, воздействие которого относится к категории диффузных и имеет ярко выраженную сезонную приуроченность. Основными поллютантами здесь служат соединения азота и фосфора, поступающие с минеральными удобрениями, органические вещества животноводческих стоков, а также пестициды. В отличие от точечных источников, которые можно контролировать и регулировать, диффузное загрязнение практически не поддаётся очистке – загрязнители поступают в реку с обширной территории через поверхностный сток и грунтовые воды. Пики сельскохозяйственного загрязнения приходятся на

периоды весеннего снеготаяния и интенсивных летних дождей, когда происходит массовый смыв удобрений с полей и продуктов эрозии почв, обогащённых органикой. Особую опасность представляют животноводческие комплексы, где на ограниченной территории концентрируются огромные массы навоза, и при отсутствии надёжных систем его утилизации стоки, содержащие навоз, попадают в водные объекты, вызывая резкое повышение содержания органики, аммония и фосфатов. Усугубляет проблему эрозия почв, ускоряемая распашкой склонов, уничтожением естественной растительности в водоохранных зонах и перевыпасом скота: смываемые мелкодисперсные почвенные частицы не только повышают мутность воды, но и служат переносчиками адсорбированных удобрений и пестицидов, оседая в русле и пополняя запас загрязнённых донных отложений [40].

Сельскохозяйственное и промышленное загрязнение дополняется поступлением поллютантов с городским поверхностным стоком, который представляет собой ещё один значимый, но часто недооцениваемый источник. Вода, стекающая с городских улиц, дорог, парковок и промышленных площадок во время дождей и снеготаяния, несёт в себе сложную смесь загрязнителей: нефтепродукты от проливов топлива и выхлопов автомобилей, тяжёлые металлы – продукты коррозии металлоконструкций и истирания тормозных колодок, хлориды и другие противогололёдные реагенты, взвешенные вещества, а также микропластик и бытовой мусор [25]. Отличительной чертой ливневого стока является его залповый характер: в сухую погоду поступление загрязнителей с городской территории минимально, но во время сильного дождя или интенсивного снеготаяния происходит массированный смыв всего, что накопилось на поверхности за предшествующий период. Концентрации поллютантов в такие моменты могут на короткое время достигать чрезвычайно высоких значений, и, хотя после прекращения дождя они относительно быстро снижаются за счёт разбавления, часть загрязнителей успевает осесть в донных отложениях, пополняя их запас. Проблема усугубляется тем, что в большинстве российских городов, особенно

некрупных, система сбора и очистки ливневых стоков либо отсутствует, либо находится в неудовлетворительном состоянии, и весь объём загрязнённых вод без какой-либо очистки поступает непосредственно в реку.

Особый вид антропогенного воздействия, кардинально меняющий и гидрологический, и гидрохимический режим реки, представляет собой зарегулирование стока и создание водохранилищ. Водохранилище, созданное в русле реки, служит мощным отстойником, в котором задерживается значительная часть переносимых рекой взвешенных веществ и связанных с ними загрязнителей [1]. С одной стороны, это приводит к определённому улучшению качества воды, вытекающей из водохранилища, – она становится более прозрачной, снижается содержание взвешенных частиц. С другой стороны, накопление загрязнённых осадков на дне создаёт долговременную угрозу вторичного загрязнения и требует периодической расчистки ложа [18]. Замедление водообмена способствует прогреву водной массы, накоплению биогенных элементов и интенсивному развитию фитопланктона. Водохранилища–охладители тепловых электростанций, подобные Южноуральскому, испытывают дополнительную нагрузку: сброс подогретых вод круглогодично поддерживает повышенную температуру, что ещё больше ускоряет эвтрофикацию и нарушает естественный газовый режим, а сброс воды из придонных слоёв водохранилища, обеднённых кислородом, может приводить к формированию зоны гипоксии в нижнем бьефе.

Все рассмотренные источники антропогенного воздействия – промышленные и коммунальные стоки, тепловое загрязнение, шлакоотстойники, рекреационная нагрузка, сельскохозяйственный смыв, ливневые воды, зарегулирование стока – редко действуют изолированно друг от друга. В пределах урбанизированных территорий они накладываются и взаимодействуют, создавая эффект суммации, при котором итоговое воздействие на водный объект оказывается значительно сложнее, чем простая арифметическая сумма отдельных влияний. Тепловое загрязнение ускоряет биохимическое окисление органики, поступающей с городскими и

рекреационными стоками; биогенные элементы из сельскохозяйственного смыва и коммунальных сбросов совместно стимулируют эвтрофикацию; взвешенные вещества, приносимые ливневыми водами, адсорбируют тяжёлые металлы промышленного происхождения и транспортируют их на значительные расстояния. Итогом этого комплексного воздействия становится снижение способности реки к самоочищению: природные механизмы разбавления, сорбции и биодеградации оказываются перегруженными и перестают справляться с поступающими объёмами загрязнителей. Формируется устойчивое загрязнение, поддерживаемое хроническим поступлением поллютантов и подпитываемое вторичным загрязнением из донных отложений. Экосистема реки деградирует: сокращается видовое разнообразие, исчезают чувствительные к загрязнению организмы, их место занимают устойчивые виды-индикаторы неблагополучия, ухудшается санитарное состояние воды и возрастают риски для здоровья населения, использующего реку в хозяйственных и рекреационных целях.

Выводы по первой главе

Анализ теоретических основ формирования гидролого-гидрохимических показателей и антропогенных факторов их трансформации позволяет сформулировать положения, создающие научный фундамент для исследования реки Увелька.

Гидрологический режим реки – взаимосвязанная система, где изменение одного параметра влечёт изменение других. Для рек Южного Урала типично весеннее половодье снегового происхождения (до 90 % стока), летне-осенняя и зимняя межень с преобладанием грунтового питания. Химический состав вод формируется под влиянием природных условий водосбора и климата. Ключевыми показателями качества выступают растворённый кислород, органическое вещество и биогенные элементы. Соотношение форм азота позволяет судить о давности органического загрязнения. Гидрохимические параметры подвержены сезонной динамике.

В современных условиях естественный режим рек трансформирован хозяйственной деятельностью. Промышленные и коммунальные стоки, тепловое загрязнение, шлакоотстойники, рекреационная нагрузка, смыв с сельскохозяйственных угодий и ливневые воды действуют совместно, создавая эффект суммации. Следствием становится снижение самоочищающей способности реки, формирование устойчивого загрязнения и деградация водной экосистемы.

Для оценки экологического состояния водного объекта необходимо сочетание теоретических знаний о природных механизмах формирования гидрохимического режима с детальным анализом локальных источников антропогенной нагрузки.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕКИ УВЕЛЬКА

2.1 Географическое положение и общая гидрография

Река Увелька является левым и самым крупным притоком реки Уй, относящейся к бассейну Тобола – Иртыша – Оби. Она протекает в центральной части Челябинской области и принадлежит к числу наиболее значимых водотоков Южного Зауралья. На её берегах расположились два города – Южноуральск и Троицк, посёлок Красногорский, а также множество деревень и сёл [5,9].

Общая протяженность реки составляет 234 км (рисунок 2).

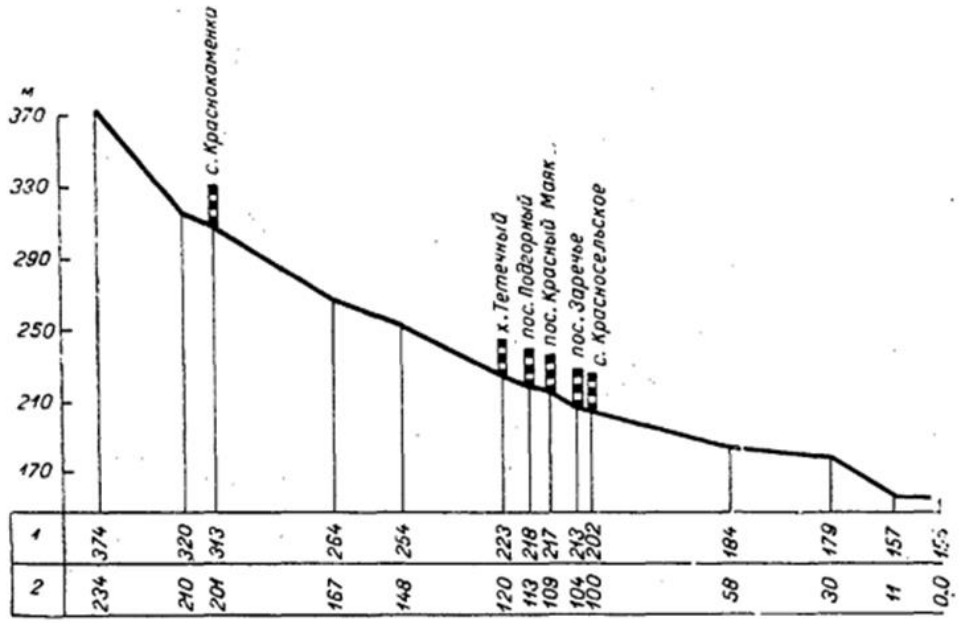


Рисунок 2 – Схематичный продольный профиль реки Увельки

Расстояние от наиболее удалённой точки речной системы – озера Кундравинское, из которого Увелька берёт своё начало, – до устья составляет 238 км. Падение реки на этом расстоянии достигает 221 м, что определяет средний уклон водной поверхности около 1,0–1,1 м/км при средневзвешенном значении того же порядка. Площадь водосборного бассейна составляет 5800 км^2, средняя высота водосбора – 302 м над уровнем моря. Густота речной сети

в пределах бассейна невелика – всего 0,17 км/км^2, что характерно для равнинных территорий лесостепной зоны Зауралья [7].

Исток реки находиться в 20 км южнее города Миасса, где из озера Кундравинское (площадь зеркала 7,8 км^2, объём около 0,3 км^3, наибольшая глубина 8,3 м) вытекает Увелька. Координаты истока 54°51′00″ с.ш., 60°10′17″ в.д. На всём протяжении река сохраняет юго-западное направление течения. Устье Увельки находиться в черте города Троицка, где она впадает в Троицкое водохранилище на реке Уй. Координаты устья: 54°04′46″ с.ш., 61°34′37″ в.д. Схематичный продольный профиль реки представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Гидрографическая схема Реки Увелька от истока до устья

Исток Устье

Река Увелька протекает по территории шести административных районов Челябинской области: Чебаркульского, Уйского, Пластовского, Еткульского, Увельского и Троицкого, а также по двум городским округам – Южноуральскому и Троицкому. Вблизи города Южноуральска при строительстве ГРЭС была сооружена плотина, в результате чего образовалось крупное Южноуральское водохранилище – ключевой элемент, определяющий современный гидрологический режим реки на всём нижележащем участке.

По особенностям строения долины и русла реку Увельку принято разделять на три характерных участка. Первый – от истока до устья реки Коелги протяжённостью 106 км. Здесь долина реки хорошо выражена, ширина её составляет 2,3–4,5 км. Склоны долины высокие (17–28 м), преимущественно пологие, с поверхности сложены суглинками, по склонам встречаются берёзовые колки. Пойма двухсторонняя, шириной от 75 м в верховьях до 0,7 км в средней части участка, к концу участка постепенно сужается и местами исчезает вовсе. Русло реки от истока до устья реки Кокуй разработано слабо и на ровной поверхности луга прослеживается в виде отдельных ям, заполненных водой. Ниже русло становится умеренно извилисты, неразветвленным. Дно реки неровное, песчано–гравелистое, местами глинистое или каменистое. Ширина реки в верховьях составляет 2–7 м, ниже увеличивается до 10–30 м, глубина варьирует от 0,5 до 3 м, местами достигая 5 м. Скорости течения изменяются от 0,1 до 1,0 м/с.

Второй участок – от устья Коелги до города Южноуральска длиной 55 км. Долина здесь дугообразная, шириной 2,5–3,5 км. Склоны выпуклые, высотой 28–53 м, крутые в прирусловой части (20–35º). Русло умеренно извилистое, шириной на плёсах 20–35 м, на перекатах – 5–20 м, с глубинами соответственно до 4 и 0,4–0,6 м. Скорости течения на плёсах составляют 0,1–0,2 м/с, на перекатах возрастают до 0,7–1,2 м/с. Берега реки каменистые, дно неровное, загромождено крупными обломками камней.

Третий участок – от города Южноуральска до устья протяжённостью 73 км. Долина реки в плане дугообразная, преобладающая ширина около 4 км.

Склоны выпуклые, высотой 35–60 м, ближе к подошве крутые (34–40º), местами обрывистые. Пойма шириной до 1,8 км в начале участка постепенно сужается к устью до 0,3 км. Русло умеренно извилистое, неразветвленное. На 8 и 34 км от устья встречаются небольшие пороги. Ширина реки на порогах и перекатах составляет 10–20 м, глубина до 0,4 м, скорости течения 0,6–1,0 м/с. На плёсах ширина достигает 40–60 м, глубина – 1,0–1,5 м при скоростях 0,1-0,2 м/с. Берега высотой 3-5 м, крутые, обрывистые. Дно реки в основном ровное, песчано-гравелистое, на перекатах и порогах каменистое. Речная система Увельки имеет древовидную форму (рисунок 4).

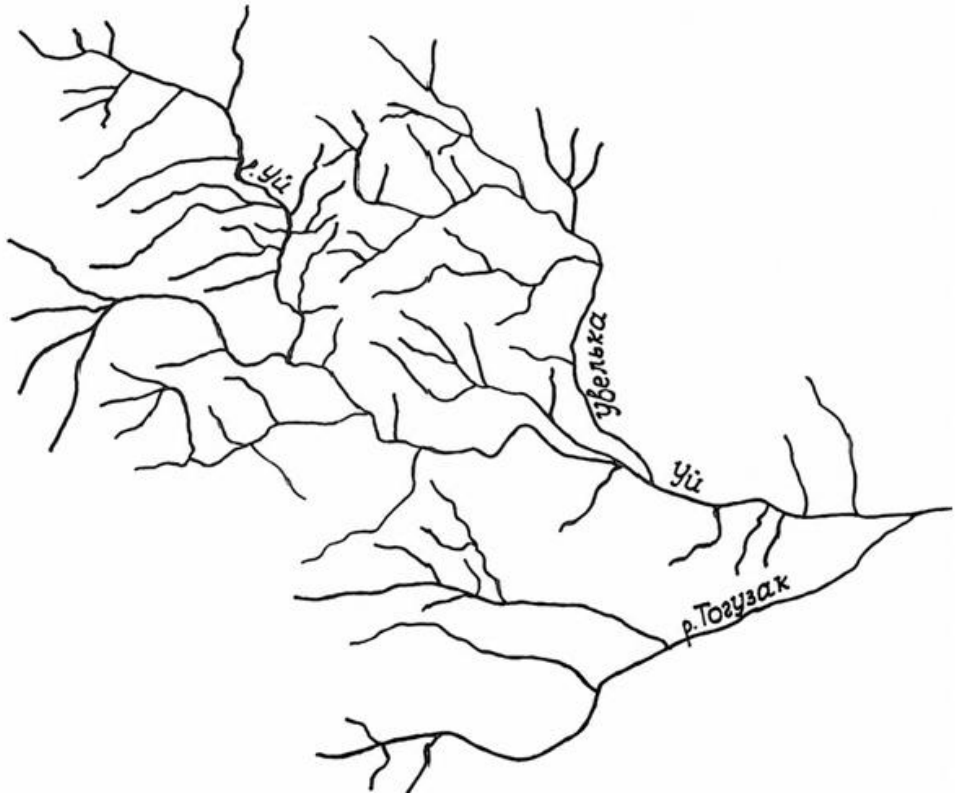


Рисунок 4 – Древовидный тип речной системы бассейна реки Уй

Для реки под действием эрозионной деятельности характерно прорезание осадочных отложений и образование резких изгибов в плане [7].

Наиболее крупными притоками являются: река Кабанка (правый берег, 89-й км от устья, длина 85 км), река Коелга (левый берег, 128-й км, длина 59 км), река Сухарыш (левый берег, 107-й км, длина 43 км), река Кумляк (правый берег, 175-й км, длина 30 км), река Карасу (левый берег, 166-й км,

длина 23 км), река Бурля (правый берег, 193-й км, длина 18 км), река Малая Увелька (правый берег, 196-й км, длина 18 км), река Тогузак (правый берег, 43-й км, длина 17 км), река Кокуй (правый берег, 214-й км, длина 13 км), река Большой Лог (левый берег, 30-й км, длина 12 км), река Татарка (левый берег, 157-й км, длина 11 км) и река Каратал (левый берег, 190-й км, длина 11 км). График нарастания площади бассейна реки Увелька по мере впадения основных притоков представлен на рисунке 5.

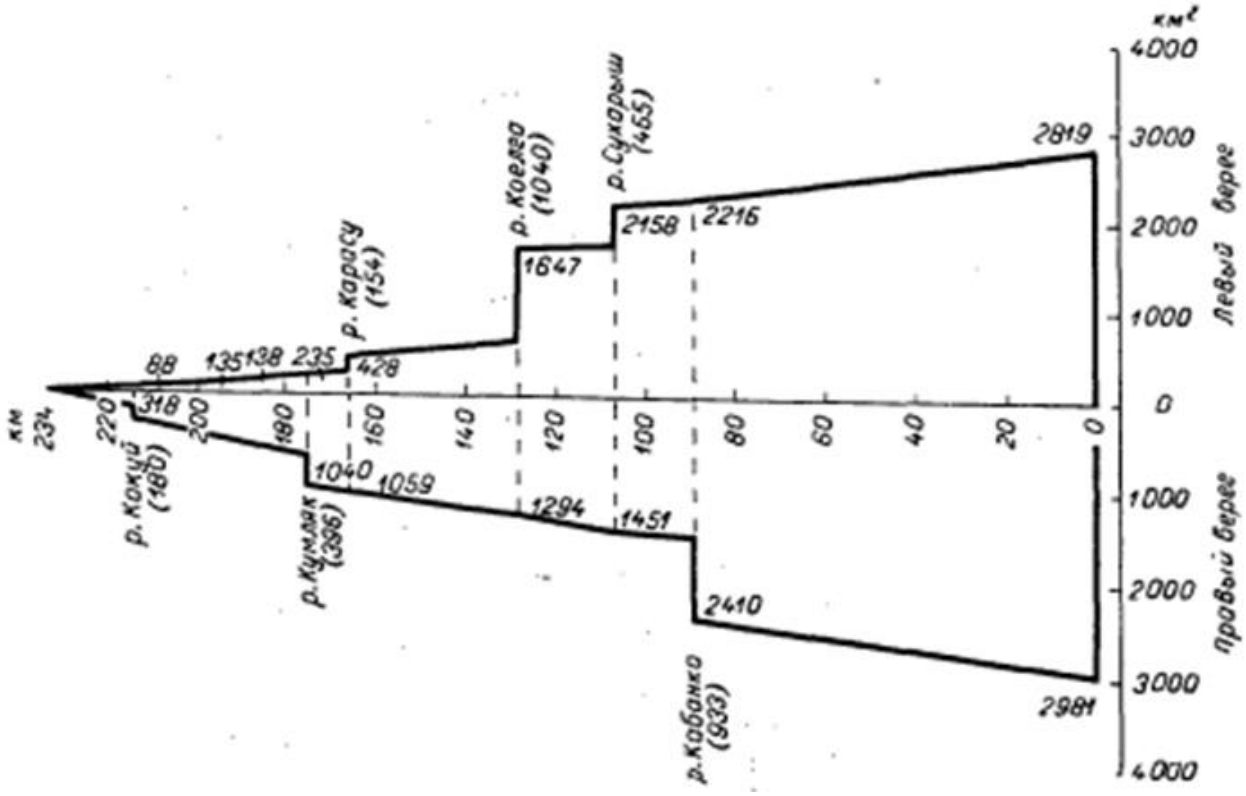


Рисунок 5 – График нарастания площади бассейна реки Увелька

Площадь водосбора реки Увельки последовательно возрастает при движении от истока к устью по мере впадения притоков. Выше устья реки Кумляк она составляет 880 км^2, ниже устья Коелги – 3070 км^2, в районе Южноуральска – 4750 км^2 и достигает 5800 км^2 в устьевом створе. Подробные гидрологические характеристики, включая данные о средних годовых, максимальных и минимальных расходах воды различной обеспеченности, приведены в разделе 2.2 при рассмотрении факторов формирования стока и гидрологического режима реки.

Река Увелька изучается на двух постах Уральским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Уральским УГМС) и на четырёх постах Челябинской геологической экспедицией. Высота наибольшего весеннего подъёма уровня составляет в верхнем течении 2,5–3 м, в среднем 5–6 м и в нижнем увеличивается до 8– 9 м за счёт подпора от Троицкого водохранилища на реке Уй. Пойма заливается водой на 5–10 дней слоем в 1–2 м, в прирусловой полосе и понижениях глубина затопления достигает 2–4 м [7].

Река используется местным населением для хозяйственных нужд, водопоя скота и полива огородов. Для целей водоснабжения и энергетики на 73-м км от устья в 1958 году создано Южноуральское водохранилище многолетнего регулирования. Длина его составляет 9 км, наибольшая ширина – 2,5 км, площадь зеркала – 18,2 км^2, полезная ёмкость – 56,7 млн м^3, полезная водоотдача – 35,9 млн м^3 в год. Именно этот гидротехнический объект в сочетании с расположенными на его берегах Южноуральскими ГРЭС во многом определяет современный гидролого-гидрохимический режим реки на участке ниже плотины.

2.2 Факторы формирования стока и гидрологический режим

Гидрологический режим реки Увельки формируется под совокупным влиянием климатических условий, особенностей рельефа, геологического строения и характера растительного покрова водосборного бассейна. Соотношение этих факторов определяет объём, внутригодовое распределение и экстремальные значения речного стока.

Река Увелька протекает в лесостепной зоне Зауралья, климат которой характеризуется как континентальный. Зима здесь продолжительная и холодная, лето относительно жаркое с периодически повторяющимися засухами. Особенности климата связаны с положением территории почти в центре материка Евразии, на большом удалении от тёплых морей и океанов и, прежде всего, от Атлантического океана [6]. Существенное влияние на

формирование климата оказывают Уральские горы, создающие препятствие на пути движения западных воздушных масс. По классификации Б.П. Алисова, территория входит в континентальную лесостепную Западно–Сибирскую область, где климат складывается под действием циклонической и антициклонической деятельности, связанной преимущественно с арктическим фронтом [5].

Зимой Зауралье находится под влиянием азиатского антициклона. Континентальный воздух, поступающий из Сибири, приносит морозную и сухую погоду. Наблюдаются частые вторжения холодных воздушных масс с севера. Средняя январская температура колеблется от -16 до -17°С, абсолютный минимум достигает -50°С. Высота снежного покрова составляет 31–37 см с запасами воды в снеге до 74–88 мм. В общей сумме осадков влага от снега составляет 22–25 %. Средняя дата установления снежного покрова приходится на 5–12 ноября, а схода – на 13–17 апреля. Продолжительность периода со снежным покровом составляет 151–159 дней [34].

Летом на территории области преобладает низкое давление. Сюда приходят арктические воздушные массы с Баренцева и Карского морей, а с юга – тропические воздушные массы из Казахстана и Средней Азии. С вторжением континентального тропического воздуха устанавливается жаркая и сухая погода. Западные ветры с Атлантического океана приносят влажную и неустойчивую погоду [14, 39]. Средняя июльская температура воздуха изменяется от 17,6°С на севере до 18,7°С на юге, абсолютный максимум достигает 39–40°С. Годовая амплитуда температуры воздуха составляет 80–85°С, что подчёркивает высокую степень континентальности климата. Продолжительность безморозного периода составляет 108–115 дней в предгорной части и 126–128 дней в восточных районах [34].

Атмосферные осадки на территории Челябинской области распределяются неравномерно. На равнинном Зауралье годовые суммы осадков уменьшаются с севера на юг от 500 до 300 мм. Наибольшая сумма осадков приходится на летний сезон. В тёплую половину года выпадает около

75–78 % годовой суммы. Количество летних осадков колеблется в больших пределах, годовая величина осадков в разные по влажности годы может изменяться в 3–4 раза. В целом лесостепная зона является районом умеренного увлажнения [26].

По характеру водного режима и источникам питания река Увелька относится к Казахстанскому типу. Для неё характерно высокое весеннее половодье и низкий сток в остальное время года. В питании реки преимущественное значение имеют снеговые воды. Доля снегового питания в лесостепной зоне Зауралья достигает 80–90 % годового стока, что наглядно отражено в таблице 5 [7].

Таблица 5 – Соотношение источников питания рек Зауралья по сезонам, %

Сезон	Снеговые воды	Дождевые воды	Подземные воды
Весеннее половодье	90	1	9
Летне-осенний сезон	–	58	42
Зима	–	–	100
Год	70	10	20

Как видно из таблицы, весной доля подземного притока в питании реки наименьшая (9–10 %), поверхностный сток формируется почти исключительно за счёт талых вод (85–90 %), доля дождевого питания не превышает 1–3 %. В период летне-осенней межени величина подземного питания возрастает до 40–50 %, на долю дождевого питания приходится до 50–60 %. Зимой реки питаются исключительно подземными водами.

Характер питания реки определяет особенности распределения стока в течение года. Внутригодовое распределение стока по сезонам для реки Увельки в створе города Южноуральска представлено в таблице 6.

Таблица 6 – Средние многолетние значения сезонного стока реки Увелька, % от годового

Река	Пункт	Весна	Лето-осень	Зима
Увелька	Южноуральск	77,3	18,9	4,8

Данные таблицы 6 свидетельствуют о резком преобладании весеннего стока, на который приходится более трёх четвертей годового объёма.

Наиболее низкая водность наблюдается в зимнее время, когда река полностью переходит на подземное питание. Доля зимнего стока составляет всего около 5 %. Летне-осенняя межень также чётко выражена, на неё приходится менее пятой части годового стока.

В тесной связи с изменчивостью стока находятся уровни воды в реке, достигающий наивысших отметок в период весеннего половодья, наименьших – во время зимней межени. Летние дождевые паводки на реках бассейна бывают не ежегодно, осенние – ещё более редки. Зимняя межень держится устойчиво. В суровые зимы на отдельных участках наблюдается перемерзание

Средняя величина годовой амплитуды колебания уровней воды для реки Увельки составляет 176–223 см (таблица 7). В отдельные годы амплитуда увеличивается до 302– 381 см, в другие, наоборот, уменьшается до 75–131 см. Уровенный режим отличается большой изменчивостью, причём амплитуда колебания возрастает вниз по течению реки по мере увеличения площади водосбора.

Таблица 7 – Годовая амплитуда колебаний уровня воды рек бассейна Тобола, см

Река	Пункт наблюдения	Средняя	Наибольшая (год)	Наименьшая (год)
Уй	Степное	247	396 (1947)	76 (1935)
Уй	Крутоярский	253	311 (1971)	168 (1975)
Увелька	Краснокаменка	176	302 (1957)	75 (1945)
Увелька	Красносельское	223	381 (1957)	131 (1975)

Реки бассейна Тобола, протекающие в лесостепной зоне (Уй, Увелька), отличаются более высоким подъёмом уровня во время половодья, чем реки степной зоны. Это связано с увеличением снегозапасов на их водосборах. Продолжительность стояния высоких вод половодья за счёт более замедленного спада здесь также возрастает. Половодье проходит иногда двумя пиками в связи с запаздыванием снеготаяния в горах, где реки берут своё начало. Дождевые паводки на Увельке довольно часты, но по величине незначительны [4].

Летне-осенняя межень наступает в третьей декаде мая – середине июня и заканчивается в сентябре–октябре. Наиболее маловодными бывают август и сентябрь. В зауральских районах межень длительная и устойчивая, со средней продолжительностью 140–150 дней. Отдельные участки реки Увельки подвержены пересыханию, связанному с интенсивной фильтрацией воды в русловых отложениях. Из засушливых лет наибольшее влияние на водность рек оказали 1975–77 годы: низкое весеннее половодье 1975 года и резкое уменьшение водности в последующие месяцы привели к тому, что к июлю–августу практически пересохли малые реки степной и лесостепной зон.

Зимняя межень выражена ещё более резко, чем летняя. Водность реки в зимний сезон в 1,5–2,0 раза ниже, чем в летний. Начинается зимняя межень во второй половине ноября с появлением ледовых образований, продолжительность её составляет 140–150 дней. Наиболее маловодными реки бывают в феврале–марте или в начале ледостава, в ноябре–декабре. Формирование стока в период зимней межени затруднено вследствие обильного образования внутриводного льда, шуги и наледей. В этих условиях значительная часть зимнего стока проходит в галечных отложениях русла в виде подруслового потока [7].

Количественные характеристики стока реки Увельки в различных створах обобщены в таблице 8. Из неё видно, что водность реки закономерно возрастает от истока к устью. Средний многолетний расход увеличивается от 0,97 $м^3/с$ в верхнем течении до 5,2 $м^3/с$ в устье. Максимальные расходы весеннего половодья обеспеченностью 1 % достигают 1130 $м^3/с$. Минимальные расходы летне-осенней и зимней межени обеспеченностью 97 % падают до сотых долей кубометра в секунду, а в верхнем течении зимний сток может полностью прекращаться. Это подтверждает упомянутую выше возможность пересыхания и перемерзания отдельных участков реки в экстремально маловодные периоды.

Таблица 8 – Основные гидрологические характеристик реки Увельки

Характеристика	Выше устья р. Кумляка	Х. Тетечный (ниже устья р. Коелги)	Пгт Южноуральский	Устье
Средний годовой расход воды, м³/сек:				
за многолетний период	0,97	3,1	4,5	5,2
обеспеченный на 75 %	0,46	1,4	2,1	2,5
обеспеченный на 97 %	0,16	0,49	0,76	0,94
Максимальные расходы воды, м³/сек:				
весеннее половодье:				
обеспеченный на 1%	350	920	997	1130
обеспеченный на 3%	265	695	750	860
обеспеченный на 5%	218	575	622	710
дождевые паводки:				
обеспеченный на 1%	51	183	305	336
обеспеченный на 3%	40	143	238	262
обеспеченный на 5%	36	128	214	245
Минимальные средние месячные расходы воды, м³/сек:				
летне-осенний:				
обеспеченный на 75%	0,08	0,40	0,60	0,72
обеспеченный на 97%	0,03	0,10	0,15	0,18
зимний:				
обеспеченный на 75%	0,02	0,09	0,14	0,17
обеспеченный на 97%	0	0,04	0,04	0,07

Температура воды играет важную роль в жизни реки, влияя на ледовые явления, биологические и химические процессы. Её непрерывные изменения во времени определяются тепловым балансом водной массы. В тёплый период при открытой водной поверхности происходит интенсивный теплообмен с атмосферой. В зимнее же время, когда река изолирована от атмосферы ледовым и снежным покровом, тепловой режим воды остаётся постоянным, не отражающим резких колебаний температуры воздуха [7].

Переход от зимнего состояния водоёма к весеннему начинается со времени перехода температуры воды через 0,2°С и приходится в Зауралье на 10–15 апреля. При дальнейшем нагревании до 4°С вода становится наиболее плотной, что приводит к полному выравниванию температуры по глубине. Этого значения вода достигает в Зауралье 18–22 апреля. Наибольший прогрев наблюдается в июле, когда среднемесячные температуры достигают 20–22°С на равнинах. В августе вода остаётся относительно тёплой, её температура составляет 16–18°С. С конца августа начинается интенсивное охлаждение, в

сентябре температура падает до 10–12°С, в октябре – до 3–4°С. Через 0,2°С вода переходит в конце октября – начале ноября.

Среднемесячные и декадные температуры воды реки Увельки по данным наблюдений на гидрологических постах приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Средняя месячная и декадная температура воды рек бассейна Тобола, °С

Река	Пункт наблюдения	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Уй	Степное	3,2	7,1	12,8	17,8	20,0	17,2	11,4	3,6	0,5
Уй	Троицкий	4,8	10	13,6	18,2	21,5	18,3	12,2	4,2	0,6
Увелька	Краснокаменка	2,6	6,3	12,1	17,2	19,4	16,6	10,6	3,0	0,6
Увелька	Красносельское	3,5	7,2	13,2	18,3	20,8	17,8	11,5	3,7	0,6

В пространственном распределении температуры речных вод проявляется как вертикальная, так и широтная зональность. Среднемесячная температура воды в июле увеличивается с севера на юг и с запада на восток в Зауралье от 18–19°С до 21–22°С. Максимальные температуры речной воды в июле составляют в среднем 24–26°С в равнинной части, абсолютные максимумы достигают 28–30°С, что примерно на 10°С ниже максимальных температур воздуха.

Наступление зимнего режима рек считается со времени снижения температуры воды до 0°С и появления первых ледовых явлений. Появлению льда на реках предшествует быстрое охлаждение воды при отрицательном тепловом балансе. Быстрее всего охлаждаются мелководные участки рек вдоль берегов, и здесь образуются прибрежные полосы льда – забереги. В дальнейшем на всей поверхности воды появляются мельчайшие кристаллы льда, которые, смерзаясь, образуют ледяные пластинки, называемые салом. Ледовые скопления смерзаются между собой, и наступает ледостав.

На малых равнинных реках ледохода осенью обычно не бывает. Забереги растут быстро, и ледостав может установиться за одну–две ночи. Начало ледостава на реках Тобольского бассейна приходится в среднем на первую декаду ноября. На реке Увельке у Краснокаменки средняя дата начала

ледостава – 3 ноября, у Красносельского – 4 ноября. Продолжительность ледостава составляет 157–163 дня.

Установившийся ледяной покров регулирует теплообмен между водой и воздухом и предохраняет водоём от промерзания. С нарастанием сумм отрицательных температур воздуха толщина льда растёт и к концу зимы достигает 80–100 см. Данные о средней толщине льда на реке Увельке представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Средняя толщина льда на реках бассейна Тобола, см

Река	Пункт наблюдения	Месяц и дата							
		XI			XII	I	II	III	IV
		10	20	30	31	31	28	31	10
Увелька	Краснокаменка	8	14	23	58	90	116	133	13
Увелька	Красносельское	–	22	28	56	71	71	95	–

В суровые зимы толщина льда может достигать 130 см, в мягкие – не превышает 60 см. Наибольшей толщины лёд достигает к концу зимы, перед началом весеннего потепления. При этом отдельные перекаты на Увельке могут не замерзать даже в самые холодные зимы.

В суровые зимы, в среднем через каждые 2–3 года, на малых реках области, особенно в южной части Зауралья, отмечается промерзание. Повторяемость и продолжительность этого явления зависят от водности рек, температурного режима и мощности снежного покрова. Промерзанию водотоков благоприятствует также зарегулированность рек плотинами, задерживающими воду и тем самым способствующими промерзанию нижерасположенных участков. Промерзание рек вызывает образование наледей – скоплений льда, формирующихся вследствие сужения русла реки при промерзании, выхода воды на поверхность льда и дальнейшего её замерзания. На многих реках Зауралья наледи занимают значительные площади, а толщина их достигает 1,5–2,0 м. Весной на таких участках лёд тает на месте, без ледохода [7].

С приходом тёплых весенних дней начинается таяние снега и льда. После перехода температуры воздуха через 0°С лёд темнеет, в нём появляются

промоины, а в прибрежной части – закраины, то есть полосы воды, свободные ото льда. В среднем это явление наблюдается в первой декаде апреля, через 8–10 дней происходит разрушение ледяного покрова, начинается подвижка льда, и реки вскрываются. Средняя дата начала ледохода на Увельке у Красносельского – 10 апреля, ранняя – 28 марта.

В верхнем течении Увельки весеннего ледохода не наблюдается – паводочные воды ежегодно проходят поверх льда. Начиная от устья Коелги, ледоход отмечается, но не ежегодно. Местами образуются заторы льда. Характеристика заторов на реке Увельке приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристика заторов льда на реке Увелька

Река	Пункт наблюдения	Величина заторного подъема уровня воды			Повторяемость заторов, %
		максимальная		средняя, см	
		см	год		
Увелька	Южноуральск	270	1947	86	40,0

Максимальный заторный подъём уровня на Увельке в районе Южноуральска достигал 270 см (1947 г.), средняя величина составляет 86 см, повторяемость явления – 40 %. Заторы льда сопровождаются интенсивным подъёмом уровней и относятся к опасным гидрологическим явлениям.

Количество переносимого рекой материала зависит от скорости течения и расхода воды. В верховьях большая скорость потока приводит к интенсивному разрушению горных пород, смыву и переносу частиц грунта. Однако в связи с малыми расходами воды объём рыхлого материала, транспортируемого рекой, может быть меньше, чем в среднем и нижнем течении. Поступление наносов в реку зависит также от твёрдости пород, слагающих водосбор, и от степени его залесённости [11].

Для территории Челябинской области условия твёрдого стока весьма разнообразны. Наименьшая мутность свойственна рекам горных районов (50–100 г/м^3). В равнинном Зауралье по мере увеличения сухости климата и, как следствие, уменьшения залесённости водосборов наблюдается увеличение мутности в 2–3 раза по сравнению с горными реками. На распаханных водосборах её величина возрастает в 3–4 раза.

Смыв грунта с поверхности водосборов и деформации русла особенно велики во время весеннего половодья и дождевых паводков. Мутность воды в реках по сравнению со средними значениями увеличивается в 2–3 раза. Особенно резко она возрастает в конце ледохода и при дождевых паводках, когда значения достигают 1000–3000 г/м^3. В период весеннего половодья в реках проходит в среднем 75–95 % объёма годового стока наносов. На летнюю межень приходится 1–10 %, на зимнюю – всего 0,4–4 % годовой величины твёрдого стока.

Значительная часть твёрдого стока оседает на дне прудов и водохранилищ, являющихся своего рода отстойниками наносов. Ниже водохранилищ мутность речных вод снижается. Южноуральское водохранилище на реке Увельке также выполняет функцию отстойника, задерживая значительную часть переносимых рекой наносов [28].

2.3 Экономико-географическая характеристика района исследования

Река Увелька на всём своём протяжении протекает по территории с достаточно высокой степенью хозяйственной освоенности. Однако именно участок в районе города Южноуральска выделяется наибольшей концентрацией промышленных, энергетических и коммунальных объектов, формирующих антропогенную нагрузку на водоток. В пределах рассматриваемой территории сосредоточены крупные энергетические объекты, промышленные предприятия, жилая застройка, сельскохозяйственные угодья и рекреационные зоны, что создаёт сложную картину многофакторного воздействия на реку [9].

Южноуральск – город областного подчинения с населением около 38 тыс. чел., расположенный в центральной части Челябинской области на реке Увельке в 90 км к югу от областного центра. Его возникновение и развитие неразрывно связано со строительством Южноуральской ГРЭС, начавшимся в конце 1940-х годов. В настоящее время Южноуральск является значимым промышленным центром региона, а река Увелька и Южноуральское

водохранилище играют ключевую роль в его хозяйственной деятельности, обеспечивая водоснабжение населения и предприятий, охлаждение оборудования ГРЭС, а также приём сточных вод.

Ключевым элементом хозяйственной инфраструктуры района является Южноуральская ГРЭС, расположенная на левом берегу реки Увельки. Выбор места для строительства станции был обусловлен близостью водного источника, способного обеспечить охлаждение турбогенераторов. Здания и сооружения ГРЭС размещены на четырёх террасах с разностью отметок верхней и нижней в 25,5 метров. Установленная электрическая мощность станции составляет 747 МВт, тепловая – 320 Гкал/ч [22]. Основным топливом для ЮуГРЭС-1 служит бурый уголь, что определяет специфику её воздействия на окружающую среду: выбросы в атмосферу продуктов сжигания угля и образование значительных объёмов золошлаковых отходов. В 2014 году для увеличения энергетических мощностей и повышения экологической безопасности был введён в эксплуатацию новый энергетический комплекс — Южноуральская ГРЭС-2. Станция построена на правом берегу Южноуральского водохранилища, в 4 км от существующей площадки ГРЭС-1. Принципиальным отличием новой станции является использование природного газа в качестве основного топлива, что существенно снижает объём твёрдых отходов и выбросов по сравнению с угольной станцией. Установленная электрическая мощность ГРЭС-2 составляет 844,5 МВт, оба энергоблока состоят из парогазовых установок производства компании Siemens [21].

Обе очереди ГРЭС используют Южноуральское водохранилище в качестве пруда–охладителя. Забор воды для технических нужд и последующий сброс подогретых вод оказывают постоянное влияние на термический и гидрохимический режим водоёма и реки на нижележащем участке: изменяется температурный фон воды, нарушается естественный ледовый режим, снижается содержание растворённого кислорода. С энергетическими объектами тесно связана проблема размещения отходов. В

2,5 км к юго-западу от площадки ГРЭС-1 и в 3,8 км к югу от ГРЭС-2 расположены золошлакоотвалы – шлакоотстойники, где складируются отходы, образующиеся при сжигании угля и очистке сточных вод. Эти сооружения представляют собой потенциальный источник фильтрационного загрязнения грунтовых и поверхностных вод соединениями марганца, цинка, свинца, сульфатами и хлоридами.

Промышленность является основой экономики Южноуральска, а её доминирующими отраслями выступают энергетика, машиностроение и торговля. Вместе с тем получили развитие керамическая, фарфоровая, пищевая и лёгкая промышленность. На крупных предприятиях города выпускается широкий спектр продукции: линейная арматура и стеклянные изоляторы для высоковольтных линий электропередач, радиокерамика для нужд военно-промышленного комплекса, металлоконструкции, комплектующие детали для электронной промышленности, строительные материалы и фарфоровая посуда, молочная и хлебобулочная продукция. Кроме того, осуществляется ремонт автомобилей и крановой техники.

Среди промышленных объектов, оказывающих потенциальное влияние на состояние реки Увельки, необходимо выделить несколько ключевых групп производств. Энергетическая отрасль и производство изоляторов представлены АО «ЮМЭК» – одним из крупнейших в России заводов по выпуску стеклянных изоляторов, ПАО «Южноуральский арматурно-изоляторный завод», специализирующимся на выпуске линейной арматуры и стеклянных изоляторов для высоковольтных ЛЭП, а также ООО «ВОЛЬТА», производящим полимерные и фарфоровые опорные изоляторы. Технологические процессы на этих предприятиях сопряжены с образованием взвешенных веществ и возможным поступлением в сточные воды соединений, используемых при обработке стекла и фарфора. Производство радиокерамики и изделий для электронной промышленности представлено ООО «ЮЗРК ГРУПП» – заводом по выпуску радиокерамических изделий, в том числе для нужд оборонно-промышленного комплекса, и ПАО «Кристалл», также

работающим в сфере производства керамических изделий и комплектующих для электронной промышленности. Стоки подобных производств могут содержать тяжёлые металлы, взвешенные вещества и специфические химические реагенты.

Значительную роль в экономике города играют машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия. ПАО «Южноуральский ремонтно-механический завод» выполняет ремонт автомобильной и крановой техники и выпускает металлоконструкции, ООО «КонструктУрал» специализируется на производстве металлоконструкций различного назначения, ООО «Южуралтрейлер» занимается изготовлением прицепной техники, а АО «Завод ЭСКОН» производит комплектующие детали для электронной промышленности. Для производств этого профиля характерно присутствие в сточных водах нефтепродуктов, тяжёлых металлов (цинк, никель, хром) и взвешенных веществ. К промышленности строительных материалов можно отнести АО «Уральский фарфор» – предприятие по выпуску фарфоровой посуды и художественных изделий, технологический цикл которого включает подготовку сырья, глазурование и обжиг, связанные с образованием взвешенных веществ и возможным поступлением в стоки соединений тяжёлых металлов, входящих в состав красок и глазурей. Пищевая промышленность представлена ПАО «Южуралхлеб» и ПАО «Южноуральский молочный завод», сточные воды которых характеризуются повышенным содержанием органических веществ и биогенных элементов, что при недостаточной очистке может вносить вклад в эвтрофикацию реки. Следует отметить, что все перечисленные предприятия осуществляют сброс сточных вод, как правило, после предварительной очистки, однако изношенность оборудования и несовершенство технологических схем могут приводить к тому, что даже «нормативно очищенные» стоки содержат загрязнители в концентрациях, превышающих допустимые.

Основным источником коммунально-бытового загрязнения реки Увельки в районе Южноуральска являются городские очистные сооружения,

эксплуатируемые ООО «Водоотведение плюс». Выпуск №1 очищенных сточных вод расположен ниже города по течению реки. В составе стоков, поступающих с очистных сооружений, регулярно регистрируются превышения нормативов по аммонийному азоту, фосфатам, нитритам и сульфатам. Определённую нагрузку создаёт также МУП «Водоканал», обеспечивающий водозабор из реки для нужд городского водоснабжения. Канализационные сети города характеризуются значительным физическим износом, что повышает риск аварийных и несанкционированных сбросов неочищенных стоков.

В бассейне реки Увельки широко развита аграрная деятельность. В окрестностях Южноуральска и выше по течению располагаются пашни, пастбища, садовые участки и животноводческие комплексы. Сельскохозяйственные угодья являются источником диффузного загрязнения: с поверхностным стоком в реку поступают минеральные удобрения – соединения азота и фосфора, пестициды, а также органические вещества животноводческого происхождения. Загрязнение носит ярко выраженный сезонный характер с пиками в период весеннего снеготаяния и после интенсивных летних дождей. В меженные периоды, когда река переходит на грунтовое питание, влияние сельскохозяйственного стока снижается.

Дополнительным фактором антропогенной нагрузки выступает рекреационная деятельность. На правом берегу Южноуральского водохранилища размещаются две базы отдыха, на территории которых оборудованы мангальные зоны и бани, отапливаемые дровами. База отдыха «Звёздный берег» функционирует как круглогодичный загородный комплекс с летним рестораном и пирсом, имеющим прямой выход к акватории водохранилища. Проведение массовых мероприятий на берегу сопряжено с поступлением в воду органических загрязнителей, синтетических моющих средств и бытового мусора. Наличие плавательных средств добавляет в перечень потенциальных загрязнителей нефтепродукты – проливы топлива и утечки масла. Рекреационная нагрузка носит сезонный характер с пиком в

тёплое время года и накладывается на фон хронического загрязнения, создаваемого промышленными и коммунальными стоками.

Выводы по второй главе

Анализ физико-географических условий бассейна реки Увельки и хозяйственной освоенности территории в районе города Южноуральска позволяет сформулировать следующие положения, необходимые для интерпретации результатов гидрохимических исследований.

Река Увелька – левый приток реки Уй протяжённостью 234 км с площадью водосбора 5800 км^2. Она протекает по шести административным районам Челябинской области и двум городским округам, а её речная система имеет древовидную форму. По особенностям строения долины и русла река делится на три участка, различающихся морфометрическими характеристиками и условиями формирования стока. Ключевым гидротехническим объектом на реке является Южноуральское водохранилище многолетнего регулирования, созданное в 1958 году для целей водоснабжения и энергетики, которое во многом определяет современный гидрологический режим нижележащего участка реки.

Климат бассейна реки Увельки континентальный, характеризующийся продолжительной холодной зимой и относительно жарким летом с периодическими засухами. Годовая амплитуда температуры воздуха достигает 80–85°С, а количество осадков уменьшается с севера на юг от 500 до 300 мм. Река относится к Казахстанскому типу водного режима с резким преобладанием весеннего половодья снегового происхождения, на которое приходится более 75 % годового стока. Летне-осенняя и зимняя межень характеризуются низкой водностью: в летний период река переходит преимущественно на грунтовое питание, а зимой доля подземного стока достигает 100 %. Годовая амплитуда колебаний уровня воды составляет в среднем 176–223 см, а в экстремально маловодные периоды отдельные участки реки могут пересыхать или перемерзать. Ледовый режим

характеризуется продолжительным ледоставом (157–163 дня) с толщиной льда, достигающей к концу зимы 80–100 см, а в суровые зимы – до 130 см. При этом на отдельных перекатах и в зоне теплового влияния ГРЭС лёд может отсутствовать в течение всей зимы.

Экономико-географическая характеристика района исследования свидетельствует о высокой концентрации антропогенных источников воздействия на реку. Город Южноуральск с населением около 38 тыс. чел. является значимым промышленным центром, где доминируют энергетика, машиностроение и производство изоляторов и радиокерамики. Ключевыми объектами, формирующими нагрузку на водоток, выступают ЮуГРЭС-1 (бурый уголь, 747 МВт) и ЮуГРЭС-2 (природный газ, 844,5 МВт), использующие водохранилище как пруд-охладитель, а также связанные с ними золошлакоотвалы. Городские очистные сооружения создают устойчивый фон биогенного и органического загрязнения. Многочисленные промышленные предприятия – от производства стеклянных изоляторов и радиокерамики до машиностроения и пищевой промышленности – добавляют в сточные воды тяжёлые металлы, взвешенные вещества и органические соединения. Сельскохозяйственные угодья формируют диффузный сток биогенных элементов, а рекреационные объекты на берегах водохранилища вносят дополнительный сезонный вклад в общую нагрузку.

Сочетание природных особенностей реки (небольшой объём стока в меженные периоды, высокая летняя температура воды, продолжительный ледостав) с многофакторной антропогенной нагрузкой создаёт предпосылки для формирования устойчивого комплексного загрязнения водной среды.

ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕКИ УВЕЛЬКА В РАЙОНЕ ГОРОДА ЮЖНОУРАЛЬСКА

3.1 Программа и методика исследований

Практическая часть работы направлена на оценку гидрохимического состояния реки Увельки в зоне влияния города Южноуральска и основных антропогенных объектов, охарактеризованных в предыдущих главах. Для получения данных, позволяющих проследить пространственную и сезонную динамику качества воды, были определены точки отбора проб, сроки проведения наблюдений, перечень анализируемых показателей и комплекс лабораторных методов, соответствующих решаемым задачам.

Пространственная схема отбора проб строилась таким образом, чтобы охватить все ключевые зоны формирования гидрохимического режима реки на исследуемом участке – от условно фонового створа, минимально затронутого городской инфраструктурой, до зоны непосредственного влияния очистных сооружений. Всего было заложено пять точек наблюдения.

Проба №1 отбиралась в месте впадения реки Кабанки – самого крупного правобережного притока Увельки. Этот створ расположен выше основных промышленных и коммунальных объектов Южноуральска и рассматривается как фоновый, отражающий качество воды, поступающей на исследуемый участок с вышележащей части водосбора.

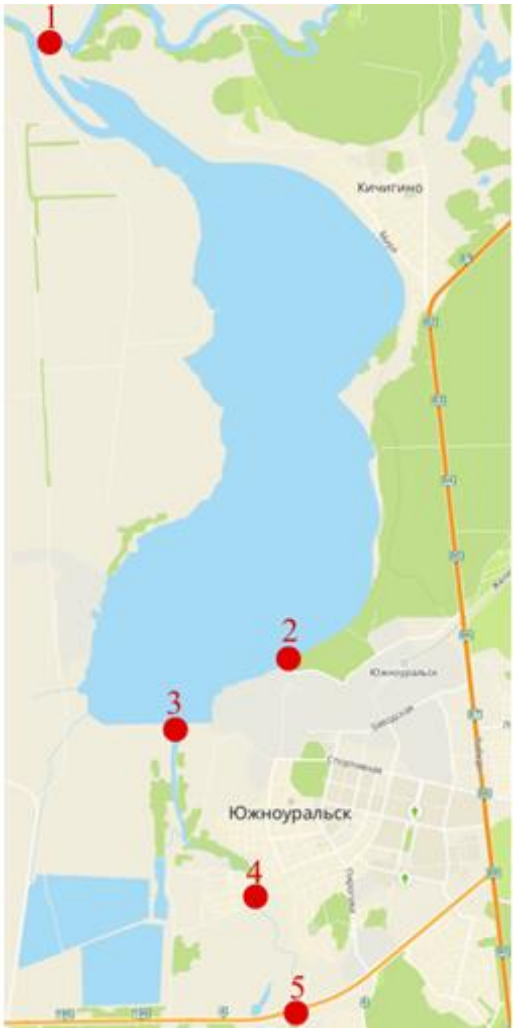
Проба №2 отбиралась в акватории Южноуральского водохранилища до дамбы ГРЭС и характеризует состояние воды в зоне её аккумуляции и трансформации под влиянием замедленного водообмена, а также теплового воздействия со стороны обеих очередей ГРЭС.

Проба №3 – вода, отобранная непосредственно в месте сброса с дамбы ГРЭС. Этот створ позволяет оценить качество воды, выходящей из водохранилища в нижний бьеф, и зафиксировать изменения, произошедшие в водной массе за время её пребывания в водоёме–охладителе.

Проба №4 отбиралась с пешеходного моста в пределах города Южноуральска, и отражает совокупное влияние городской инфраструктуры, включая поверхностный ливневый сток, промышленные выпуски и диффузное поступление загрязнителей с прибрежной территории.

Проба №5 – вода, отобранная в 500 м ниже по течению от городских очистных сооружений. Этот створ является замыкающим и позволяет оценить вклад коммунально-бытовых стоков в общую гидрохимическую картину после прохождения рекой всей городской территории.

Пространственное размещение всех пяти створов, отражающее логику перехода от условно фонового участка к зоне максимальной антропогенной нагрузки, показано на рисунке 6.



1 – Точки отбора проб

Рисунок 6 –Карта-схема расположения створов отбора проб воды на реке Увельке в районе города Южноуральска

Для выявления сезонной изменчивости гидрохимических показателей отбор проб проводился дважды: в период осенней межени (октябрь 2025 года) и в период весеннего половодья (апрель 2026 года). Выбор гидрологических фаз обусловлен их принципиальными различиями. Осенняя межень характеризуется низким уровнем воды, преобладанием грунтового питания, относительно высокой минерализацией и пониженным содержанием растворённого кислорода – в этот период река наиболее уязвима к антропогенному воздействию, а её разбавляющая способность минимальна. Весеннее половодье, напротив, отличается высокими расходами воды, питанием преимущественно за счёт талых снеговых вод, пониженной минерализацией и активным поступлением загрязнителей с поверхности водосбора. Сопоставление данных, полученных в эти два контрастных периода, позволяет составить достаточно полное представление о диапазоне изменчивости гидрохимических показателей реки Увельки.

В соответствии с задачами работы в отобранных пробах определялись гидрохимические параметры: содержание растворённого кислорода, величина перманганатной окисляемости, концентрация ионов аммония, нитрит и нитрат–ионов. Выбор показателей продиктован их высокой информативностью при оценке экологического состояния водных объектов, испытывающих антропогенную нагрузку. Растворённый кислород является интегральным показателем санитарного состояния водоёма и интенсивности окислительных процессов. Перманганатная окисляемость даёт представление о содержании легкоокисляемых органических веществ. Три формы азота позволяют оценить не только факт поступления органических загрязнителей, но и стадии их биохимической трансформации, определяя давность загрязнения и активность процессов самоочищения.

Лабораторный анализ выполнялся с использованием стандартизованных методик. Определение содержания растворённого кислорода проводилось йодометрическим титрованием по Винклеру, основанным на окислении гидроксида марганца (II) в щелочной среде, поглощая эквивалентное

количество кислорода. Последующее восстановление Mn^{+4} до Mn^{+2} в кислой среде йодидом приводит к высвобождению йода в количестве, эквивалентном поглощённому кислороду, в связи с чем его дальнейшее количественное определение титрованием тиосульфатом в присутствии крахмала позволяет рассчитать содержание растворённого кислорода (приложение 1).

Величина перманганатной окисляемости определялась титриметрически по Кубелю. В основе метода лежит окисление легко окисляемых органических веществ перманганатом калия в кислой среде с последующим количественным определением избытка перманганата титрованием щавелевой кислотой (приложение 2).

Определение аммиака и ионов аммония проводилось фотоколориметрически с реактивом Несслера (щелочной раствор йодида ртути (II)), с которым определяемые компоненты образуют йодид меркураммония жёлтого цвета (приложение 3).

Количественное определение нитрит-ионов выполнялось фотоколориметрически путем диазотирования нитритами сульфаниловой кислоты с последующим азосочетанием с α-нафтиламином. Образующийся при этом азокраситель имеет красно-фиолетовую окраску (приложение 4) [37].

Концентрация нитрат-ионов определялась фотометрически восстановлением нитратной формы до нитритной гадразином с последующим количественным определением нитритов по описанному выше методу (приложение 5) [38].

Для фотоколориметрических определений строились калибровочные графики зависимости оптической плотности от концентрации определяемого вещества, а концентрации ионов в исследуемых пробах находили по соответствующим градуировочным зависимостям.

Оценка качества воды проводилась путём сопоставления полученных результатов с величинами ПДК, установленными для водоёмов различного назначения. Для питьевой воды использовались нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды

централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования применялись нормативы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Для водоёмов рыбо-хозяйственного назначения использовались нормативы, утверждённые приказом Росрыболовства от 26.05.2025 № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбо-хозяйственного значения», а также ГОСТ 17.1.2.04-77 «Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбо-хозяйственных водных объектов». Применение нескольких категорий нормативов обусловлено многоцелевым характером использования реки Увельки: она одновременно служит источником питьевого водоснабжения, приёмником сточных вод и является рыбо-хозяйственным водоёмом. Сравнение с наиболее жёсткими рыбо-хозяйственными ПДК позволяет дать наиболее чувствительную оценку экологического состояния водного объекта.

3.2 Анализ гидрохимических параметров и оценка качества воды

Результаты лабораторного анализа проб воды, отобранных в пяти створах на реке Увельке в осеннюю межень и весеннее половодье, позволяют проследить пространственную и сезонную динамику гидрохимических показателей и оценить вклад отдельных источников антропогенной нагрузки в формирование качества воды на исследуемом участке.

Содержание растворённого в воде кислорода является одним из наиболее информативных показателей экологического состояния водного объекта, поскольку оно напрямую отражает баланс между процессами поступления кислорода из атмосферы и его потребления на окисление органических веществ и дыхание гидробионтов. Результаты определения содержания растворённого кислорода в исследуемых пробах представлены в таблице 12.

Таблица 12– Содержание растворённого кислорода в воде реки Увельки, мг/дм^3

№ пробы	Осень	Весна
1	8,5	9,2
2	7,9	7,6
3	5,5	9,1
4	7,6	9,4
5	4,5	8,4

Осенью содержание растворённого кислорода изменялось в пределах от 4,5 до 8,5 мг/дм^3. Максимальное значение зафиксировано в фоновом створе №1 (8,5 мг/дм^3), что объясняется активным перемешиванием водных масс при слиянии двух потоков и минимальной антропогенной нагрузкой на этом участке. Высокие концентрации кислорода сохраняются в водохранилище (проба №2 – 7,9 мг/дм^3) и в черте города (проба №4 – 7,6 мг/дм^3). Обращает на себя внимание снижение содержания кислорода в пробе №3 (5,5 мг/дм^3), отобранной непосредственно после сброса воды с дамбы ГРЭС, что может быть следствием теплового воздействия: вода, прошедшая через водохранилище-охладитель, имеет повышенную температуру, что снижает растворимость кислорода. Кроме того, в водохранилище происходит накопление органических веществ, на окисление которых затрачивается кислород. Достаточно низким значением характеризуется вода пробы №5 (4,5 мг/дм^3), отобранной ниже городских очистных сооружений, где к тепловому фактору добавляется поступление органических веществ с коммунально-бытовыми стоками, на окисление которых расходуется дополнительное количество кислорода.

В весенний период для воды всех створов характерно достаточно высокое содержание кислорода (7,6–9,4 мг/дм^3). Повышение содержания кислорода по сравнению с осенним периодом может быть обусловлено низкой температурой воды (растворимость кислорода в ней растет), а также с низкой интенсивностью протекания в воде биохимических процессов, протекающих с затратами кислорода. Кроме того, в осенний период в водоем происходит дополнительный приток органического вещества с поверхностным стоком,

также снижающий содержание кислорода. Минимальное весеннее значение, в отличие от осени, зафиксировано не в пробе №5, а в пробе №2 (7,6 мг/дм^3), отобранной в водохранилище, что может объясняться потреблением кислорода на окисление органики, накопленной в водоёме за зиму. После сброса с дамбы (проба №3 – 9,12 мг/дм^3) содержание кислорода несколько возрастает за счёт аэрации при переливе воды через плотину. В пробе №5 содержание кислорода составляет 8,4 мг/л – не самое низкое значение среди весенних проб, но находящееся ниже значения фонового створа и в черте города, что указывает на продолжающееся потребление кислорода на окисление органических веществ, поступающих с очистных сооружений.

Согласно нормативам, установленным приказом Росрыболовства от 26.05.2025 № 296, концентрация растворённого кислорода в водоёмах высшей и первой рыбохозяйственной категории не должна опускаться ниже 6,0 мг/дм³. Для питьевой воды (СанПиН 2.1.4.1074-01) и водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (СанПиН 1.2.3685-21) минимально допустимое содержание кислорода составляет 4,0 мг/л. Все полученные значения – как осенние, так и весенние – превышают установленные нормативы. По показателю растворённого кислорода состояние реки Увельки на момент отбора проб оценивается как благополучное, однако обращает на себя внимание выраженная пространственная и сезонная неоднородность, указывающая на влияние ГРЭС и очистных сооружений.

Величина перманганатной окисляемости характеризует содержание в воде легкоокисляемых органических веществ и служит косвенным показателем органического загрязнения. Результаты её определения представлены в таблице 13.

Осенью значения перманганатной окисляемости находятся в диапазоне от 6,4 до 9,76 мгО/дм^3. Максимальное значение зафиксировано в фоновом створе №1 (9,76 мгО/дм^3), что может объясняться поступлением органических

веществ с водами притока Кабанки, дренирующего территорию с развитой сельскохозяйственной деятельностью.

Таблица 13 – Величина перманганатной окисляемости воды реки Увелька, мгО/дм^3

№ пробы	Осень	Весна
1	9,76	11,2
2	8,64	8
3	7,68	5,12
4	6,72	7,68
5	6,4	6,72

Далее по течению прослеживается постепенное снижение показателя: в водохранилище (проба №2) – 8,64 мгО/дм^3, после дамбы (проба №3) – 7,68 мгО/дм^3, в черте города (проба №4) – 6,72 мгО/дм^3, ниже очистных сооружений (проба №5) – 6,4 мгО/дм^3. Такая динамика может свидетельствовать о процессах самоочищения: органические вещества постепенно окисляются, а также разбавляются более чистыми водами.

В весенний период максимальное значение вновь регистрируется в пробе №1 (11,2 мгО/дм^3), что связано с паводковым смывом органических веществ с водосборной территории. Однако далее динамика отличается от осенней: после снижения в водохранилище (проба №2 – 8,0 мгО/дм^3) и падения после дамбы (проба №3 – 5,12 мгО/дм^3) показатель вновь растёт в черте города (проба №4 – 7,68 мгО/дм^3) и остаётся примерно на том же уровне ниже очистных (проба №5 – 6,72 мгО/дм^3). Минимальное значение в пробе №3 может объясняться эффектом разбавления талыми водами в водохранилище, а последующий рост – поступлением дополнительной органики с городской территории, включая ливневые стоки и, возможно, недостаточно очищенные промышленные сбросы.

В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК перманганатной окисляемости для питьевой воды составляет 5,0 мг/дм^3. Для водоёмов рыбохозяйственного назначения согласно ГОСТ 17.1.2.04-77 этот норматив составляет 10,0 мгО/дм^3. Осенью все пробы находятся ниже рыбохозяйственного ПДК, однако превышают питьевой норматив, за

исключением пробы №5, которая близка к границе. Весной проба №1 (11,2 мгО/дм^3) незначительно превышает рыбо-хозяйственный ПДК, что объясняется естественными паводковыми процессами. В целом уровень органического загрязнения воды в реке Увельке по результатам перманганатной окисляемости можно охарактеризовать как умеренный, с тенденцией к улучшению от фонового створа к замыкающему в осенний период и с локальным повышением в городской черте в весенний.

Также следует отметить, что наблюдаются разногласия между значениями содержания растворённого в воде кислорода и показателем перманганатной окисляемости: в осенний период ниже содержание кислорода, в то время, как показатель перманганатной окисляемости в этот период ниже. Данное явление может быть связано со свежим поступлением восстановителей в воду реки в весенний период. В результате, поступившее с талыми водами вещество ещё не успело окислиться, затратив кислород.

Концентрация ионов аммония является индикатором свежего органического загрязнения, поскольку аммоний образуется на первых стадиях разложения азотсодержащих органических веществ. Результаты определения содержания ионов аммония представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Концентрация ионов аммония и аммонийного азота в воде реки Увельки, мкг/дм^3

№ пробы	Осень	Весна
1	17,4	4,5
2	12,3	3,3
3	13,3	3,2
4	7,8	5,9
5	14,8	2,8

Концентрации ионов аммония в оба сезона находятся на крайне низком уровне. Осенью значения варьируют от 7,8 до 17,4 мкг/дм^3, весной – от 2,8 до 5,9 мкг/дм^3. Весенние концентрации закономерно ниже, что объясняется эффектом разбавления талыми водами в период половодья, а также

прошедшими за зимний период процессами окисления соединений азота, поступавшими в реку осенью.

Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК аммиачного азота для питьевой воды составляет 2,0 мг/дм^3. СанПиН 1.2.3685-21 устанавливает ПДК аммиака и ионов аммония на уровне 1,5 мг/дм^3 (для централизованного водоснабжения – 2,0 мг/дм^3). Наиболее жёсткий норматив предусмотрен приказом Росрыболовства № 296: ПДК аммонийного азота для рыбо-хозяйственных водоёмов составляет 0,5 мг/дм^3 (в пересчёте на азот – 0,4 мг/дм^3). Все полученные значения на порядки ниже рыбо-хозяйственного норматива, что может свидетельствовать об отсутствии свежего загрязнения воды на всех исследуемых участках в оба гидрологических сезона. Низкие концентрации ионов аммония также указывают на то, что процессы нитрификации в реке протекают активно, и аммонийный азот, поступающий в воду, быстро окисляется до нитритов и далее до нитратов.

Нитриты представляют собой промежуточную форму окисления азота, и их повышенное содержание свидетельствует о незавершённости процессов нитрификации, что характерно для водоёмов, испытывающих постоянную нагрузку органическими веществами. Результаты определения концентрации нитрит-ионов приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Концентрация нитрит-ионов в воде реки Увельки, мкг/дм^3

№ пробы	Осень	Весна
1	5,0	24,9
2	7,4	27,1
3	4,8	46,3
4	7,4	63,5
5	4,4	93,8

Осенью содержание нитритов минимально и колеблется в узком диапазоне от 4,4 до 7,4 мкг/дм^3. Все значения значительно ниже ПДК для питьевой воды (3,0 мг/дм^3 по СанПиН 2.1.4.1074-01) и рыбо-хозяйственного норматива (0,08 мг/дм^3 по приказу № 296). Это указывает на стабильное

санитарное состояние реки в меженный период, когда процессы нитрификации протекают без выраженных нарушений.

Весной наблюдается рост концентраций нитритов по всем створам. Значения возрастают от 24,99 мкг/дм^3 в пробе №1 до 93,8 мкг/дм^3 в пробе №5. Прослеживается чёткая пространственная динамика: минимальное содержание регистрируется в фоновом створе №1, затем следует рост в водохранилище (проба №2 –27,1 мкг/дм^3), скачок после дамбы ГРЭС (проба №3 – 46,3 мкг/дм^3), дальнейшее увеличение в черте города (проба №4 – 63,5 мкг/дм^3) и максимум ниже очистных сооружений (проба №5 – 93,8 мкг/дм^3). Такая картина указывает на антропогенный вклад в загрязнение: сброс подогретых вод с ГРЭС активизирует процессы нитрификации, а очистные сооружения добавляют окисленные формы азота. Рост концентраций в пробе №4 по сравнению с пробой №3 может быть связан с поступлением нитритов из городских ливневых стоков и промышленных выпусков.

Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК нитрит-иона для питьевой воды составляет 3,0 мг/дм^3 – осенью все пробы соответствуют этому нормативу. Весной значения также остаются ниже питьевого ПДК. Однако для рыбо-хозяйственных водоёмов приказом № 296 установлен значительно более жёсткий норматив – 0,08 мг/дм^3. Весной проба №5 (0,094 мг/дм^3) превышает этот порог, а проба №4 (0,064 мг/дм^3) приближается к нему. Таким образом, весенний период характеризуется повышенным содержанием нитритов, особенно в зоне влияния очистных сооружений, где наблюдается превышение рыбо-хозяйственного ПДК. Повышение содержания нитритного азота в весенний период по сравнению с осенним также может свидетельствовать о свежем поступлении загрязнителей и начинающих протекать процессах окисления.

Нитраты являются конечным продуктом окисления азотсодержащих соединений и при отсутствии свежего загрязнения должны преобладать над

аммонийной и нитритной формами. Результаты определения концентрации нитрат-ионов представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Концентрация нитрат-ионов в воде реки Увельки, мг/дм^3

№ пробы	Осень	Весна
1	0,21	0,04
2	0,09	0,01
3	0,002	0,29
4	0,12	0,42
5	0,02	0,52

Осенью максимальная концентрация нитратов зафиксирована в фоновом створе №1 (0,21 мг/дм^3), что может быть связано с поступлением смывов с сельскохозяйственных угодий по руслу Кабанки. В водохранилище (проба №2) концентрация снижается до 0,09 мг/дм^3, а после дамбы (проба №3) падает до аномально низких 0,002 мг/дм^3, что может объясняться потреблением нитратов фитопланктоном в условиях замедленного водообмена в водохранилище. Далее по течению содержание нитратов вновь растёт: в черте города (проба №4) – 0,12 мг/дм^3, но ниже очистных (проба №5) опять снижается до 0,02 мг/дм^3. Такая неравномерная динамика свидетельствует о сложном балансе процессов поступления, потребления и трансформации нитратов на различных участках реки.

Весной минимальные значения регистрируются в пробе №2 (0,01 мг/дм^3), после чего следует резкий рост после дамбы ГРЭС (проба №3 – 0,29 мг/дм^3), в черте города (проба №4 – 0,42 мг/дм^3) и максимум ниже очистных (проба №5 – 0,52 мг/дм^3). Пространственная динамика аналогична нитритной: прослеживается явное влияние ГРЭС и очистных сооружений. Рост концентраций к пробе №5 указывает на завершение процессов нитрификации – окисления аммонийного азота до нитритов и далее до нитратов. Тот факт, что при крайне низких концентрациях аммония фиксируются относительно высокие концентрации нитратов, подтверждает, что процессы нитрификации в реке идут активно и поступившие органические загрязнители подвергаются биохимическому окислению.

Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01, ПДК нитратов для питьевой воды составляет 45,0 мг/дм^3. Для рыбохозяйственных водоёмов приказом № 296 установлен норматив 40 мг/дм^3. Все полученные значения – как осенние, так и весенние – на два – три порядка ниже установленных ПДК. По нитратному показателю качество воды опасений не вызывает. Однако весенний рост концентраций в зоне антропогенного влияния заслуживает внимания как индикатор происходящих процессов окисления азотсодержащих соединений.

Анализ полученных данных позволяет выделить несколько принципиальных закономерностей, характеризующих гидрохимический режим реки Увельки на исследуемом участке. Пространственная динамика большинства показателей указывает на последовательное изменение качества воды по мере продвижения от фонового створа к замыкающему. Наиболее отчётливо эта закономерность прослеживается весной по нитритам и нитратам: их концентрации закономерно возрастают от пробы №1 к пробе №5, отражая вклад ГРЭС и очистных сооружений. По содержанию растворённого кислорода и перманганатной окисляемости пространственная динамика выражена слабее, однако и здесь заметно влияние дамбы ГРЭС (снижение кислорода осенью в пробе №3) и очистных сооружений (минимальные значения кислорода в пробе №5 в оба сезона).

Сезонная динамика проявляется в существенных различиях между осенними и весенними значениями. Весной, в период половодья, содержание кислорода, нитратного и нитритного азота выше, чем в осеннюю межень. Это объясняется смывом загрязнителей с водосборной территории, активизацией микробиологических процессов и эффектом разбавления для одних показателей при одновременном концентрировании других. Концентрации ионов аммония, напротив, ниже весной, что связано с разбавлением талых вод и интенсивной нитрификацией.

Сводные данные о соответствии качества воды нормативным требованиям по исследованным показателям представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Сводная оценка соответствия гидрохимических показателей воды реки Увельки рыбохозяйственным нормативам

Показатель	Осень (диапазон)	Весна (диапазон)	ПДК рыб/хоз	Превышение ПДК рыб/хоз
Растворённый O_2, мг/дм^3	4,5–8,5	7,6–9,36	Не менее 6,0	Нет
Перманганатная окисляемость, мгО/дм^3	6,4–9,76	5,12–11,2	10,0	Весна, проба №1 (11,2)
Ионы аммония (NH_4^+), мг/дм^3	0,0078–0,0174	0,0028–0,0059	0,5	Нет
Нитрит-ионы (NO_2^-), мг/дм^3	0,0044–0,0074	0,0249–0,0938	0,08	Весна, проба №5 (0,0938)
Нитрат-ионы (NO_3^-), мг/дм^3	0,0014–0,2094	0,0094–0,5134	40,0	Нет

По содержанию растворённого кислорода, ионов аммония и нитрат-ионов вода реки Увельки соответствует рыбо-хозяйственным нормативам в оба гидрологических сезона. Вместе с тем зафиксированы два случая превышения ПДК: по перманганатной окисляемости в фоновом створе в весенний период, что связано с естественным паводковым смывом органических веществ с водосборной территории, и по нитрит-ионам в замыкающем створе ниже очистных сооружений также весной, что указывает на антропогенный вклад коммунально-бытовых стоков в загрязнение реки. Остальные показатели находятся в пределах установленных нормативов, однако пространственная и сезонная динамика свидетельствует о постоянном антропогенном прессе на водоток.

3.3 Оценка антропогенной нагрузки на реку в районе города Южноуральска

Результаты гидрохимического анализа, представленные в предыдущем разделе, дают картину пространственной и сезонной изменчивости качества воды на исследуемом участке реки Увельки. Однако ценность этих данных в полной мере раскрывается лишь при их сопоставлении с конкретными источниками антропогенного воздействия. Настоящий раздел посвящён комплексной оценке вклада каждого из выявленных источников в

формирование гидрохимического режима реки и определению степени трансформации водной экосистемы под совокупным влиянием города Южноуральска и его инфраструктуры.

Расположение створов отбора проб было спланировано так, чтобы проследить изменение качества воды по мере прохождения рекой ключевых зон антропогенного воздействия. Это позволяет, сопоставляя значения показателей в соседних створах, оценить вклад каждого из источников.

Фоновый створ №1 в устье Кабанки характеризует качество воды, поступающей на исследуемый участок из вышележащей части бассейна. Весной в нём зафиксировано превышение рыбо-хозяйственного ПДК по перманганатной окисляемости в 1,12 раз, что свидетельствует о поступлении органических веществ с водами Кабанки, дренирующей сельскохозяйственные территории. Ещё до входа в зону непосредственного влияния Южноуральска река уже несёт определённую антропогенную нагрузку, связанную с диффузным сельскохозяйственным стоком.

Створ №2 в акватории водохранилища до дамбы ГРЭС отражает процессы, происходящие в самом водоёме-охладителе. Замедленный водообмен и тепловое воздействие со стороны обеих очередей ГРЭС создают здесь специфические условия. С одной стороны, водохранилище выполняет функцию отстойника: в нём снижается перманганатная окисляемость по сравнению с фоновым створом (с 9,76 до 8,64 мгО/дм^3 осенью и с 11,2 до 8,0 мгО/дм^3 весной), уменьшается содержание нитратов (с 0,21 до 0,09 мг/дм^3 осенью). С другой стороны, именно здесь фиксируется минимальное весеннее содержание растворённого кислорода (7,6 мг/дм^3), что объясняется его потреблением на окисление накопленной органики в условиях повышенной температуры воды. Кроме того, в водохранилище происходит трансформация соединений азота: концентрации нитритов в пробе №2 выше, чем в фоновой, что указывает на активно идущие процессы нитрификации, стимулированные тепловым воздействием ГРЭС.

Переход от створа №2 к створу №3 в месте сброса с дамбы ГРЭС даёт наиболее наглядное представление о роли гидроузла в формировании качества воды. Осенью здесь происходит падение содержания растворённого кислорода, что является следствием сброса воды из придонных слоёв водохранилища, обеднённых кислородом. Весной этот эффект выражен слабее, что связано с более активным перемешиванием водной массы в период половодья. Вместе с тем после дамбы ГРЭС весной наблюдается рост концентраций нитритов (с 27,1 до 46,3 мкг/дм^3) и нитратов (с 0,01 до 0,29 мг/дм^3). Этот скачок свидетельствует о том, что в водохранилище под влиянием теплового загрязнения активно идут процессы нитрификации, и вода, сбрасываемая в нижний бьеф, содержит продукты окисления органических загрязнителей. ГРЭС вносят двойной вклад в загрязнение реки: тепловое воздействие ускоряет биохимические процессы в водохранилище, а сброс воды через плотину поставляет в нижний бьеф воду с изменённым газовым режимом и повышенным содержанием окисленных форм азота.

Створ №4 в середине реки в границах города отражает совокупное влияние городской инфраструктуры. Здесь к воде, уже прошедшей через водохранилище и плотину ГРЭС, добавляются промышленные стоки, ливневые воды и диффузное поступление загрязнителей с прибрежной территории. Осенью этот створ не выделяется какими-либо аномалиями, что объясняется низкой активностью ливневого стока в меженный период и, возможно, снижением объёмов промышленных сбросов. Весной же картина иная: после некоторого снижения в пробе №3 концентрация нитритов в пробе №4 вновь возрастает (с 46,3 до 63,5 мкг/дм^3), нитратов – с 0,29 до 0,42 мг/дм^3. Это указывает на дополнительное поступление биогенных элементов с городской территории – как из точечных источников, так и за счёт смыва с улиц и дворов в период весеннего снеготаяния.

Замыкающий створ №5, расположенный в 500 метрах ниже очистных сооружений, позволяет оценить вклад коммунально-бытовых стоков. Именно здесь зафиксированы наихудшие значения по ключевым показателям в оба

сезона. Осенью это минимальное содержание растворённого кислорода (4,5 мг/дм^3) и низшая, хотя и остающаяся в пределах нормы, перманганатная окисляемость. Весной здесь регистрируется максимум нитритов (93,8 мкг/дм^3), превышающий рыбо-хозяйственный ПДК, и максимум нитратов (0,51 мг/дм^3). При этом концентрации аммония остаются минимальными именно в пробе №5 (14,8 мкг/дм^3 осенью и 2,8 мкг/дм^3 весной). Такое сочетание – низкое содержание аммонийного азота при относительно повышенных содержаниях нитритов и нитратов – указывает на то, что органические вещества, поступающие с очистных сооружений, окисляются, но процесс нитрификации не завершается до конца, что приводит к накоплению нитритов. Очистные сооружения являются основным источником поступления в реку биогенных элементов в черте города, и их вклад в общее загрязнение наиболее весом в период весеннего половодья.

Сравнение данных, полученных в осеннюю межень и весеннее половодье, выявляет принципиальные различия в характере и интенсивности антропогенной нагрузки в зависимости от гидрологической фазы. Осенью, в условиях низкой водности и преобладания грунтового питания, река наименее защищена от точечных источников загрязнения. Именно в этот период фиксируется снижение содержания растворённого кислорода в зоне влияния ГРЭС (проба №3) и ниже очистных сооружений (проба №5). Вместе с тем концентрации биогенных элементов остаются относительно невысокими, что объясняется как общим снижением объёмов сбросов в меженный период, так и замедлением процессов нитрификации в условиях пониженной температуры воды. Весной, напротив, активизируются диффузные источники. Паводковый смыв с сельскохозяйственных угодий формирует пик перманганатной окисляемости в фоновом створе. Городской ливневый сток и снеготаяние добавляют биогенные элементы в черте города. Одновременно с этим повышение температуры воды и поступление свежей органики активизируют микробиологические процессы, что ведёт к резкому росту концентраций промежуточных и конечных продуктов окисления азота в зоне влияния ГРЭС

и очистных сооружений. Весна является периодом наибольшего экологического риска для реки Увельки: именно в это время фиксируются превышения рыбохозяйственных ПДК и создаются предпосылки для развития процессов эвтрофикации в летний период.

Важнейшей особенностью антропогенного воздействия на реку Увельку в районе Южноуральска является то, что все выявленные источники действуют не изолированно, а в тесном взаимодействии, создавая эффект суммации. Тепловое загрязнение от ГРЭС ускоряет окисление органических веществ, поступающих с сельскохозяйственным стоком и коммунальными сбросами. Биогенные элементы из разных источников складываются, стимулируя развитие фитопланктона в водохранилище. Взвешенные вещества, приносимые ливневыми водами, адсорбируют тяжёлые металлы промышленного происхождения и транспортируют их на значительные расстояния. Наложение этих процессов приводит к тому, что даже при отсутствии критических превышений ПДК по отдельным показателям экосистема реки испытывает хронический стресс.

Об этом свидетельствует и сопоставление полученных результатов с данными государственного мониторинга, приведёнными в Комплексном докладе о состоянии окружающей среды Челябинской области. В створе, расположенном 1,0 км ниже Южноуральска, неоднократно фиксировались экстремально высокие уровни загрязнения: содержание марганца достигало 56,2 ПДК, азота аммония – 20,6 ПДК, регистрировался острый дефицит растворённого кислорода (до 0,27 мг/дм^3). [20] Полученные в ходе настоящего исследования данные не содержат столь экстремальных значений. По содержанию растворённого кислорода, ионов аммония и нитратов вода соответствует даже наиболее жёстким рыбо-хозяйственным нормативам. Но превышение ПДК по нитритам в замыкающем створе, устойчивая пространственная динамика ухудшения качества воды от фонового створа к замыкающему, а также сам факт периодических экстремальных загрязнений, фиксируемых государственной наблюдательной сетью, свидетельствуют о

том, что экосистема реки Увельки находится в состоянии хронического напряжения. В годы с иными гидрометеорологическими условиями – более низким половодьем, меньшим объёмом стока в межень – баланс может смещаться в сторону резкого ухудшения качества воды.

Проведённый анализ позволяет выстроить иерархию антропогенных источников по их вкладу в формирование гидрохимического режима реки. Первую позицию по масштабу и устойчивости воздействия занимают городские очистные сооружения. Их влияние прослеживается во все гидрологические сезоны и выражается в стабильном поступлении биогенных элементов, приводящем к накоплению нитритов и нитратов в замыкающем створе. Именно здесь зафиксировано единственное в ходе данного исследования превышение рыбо-хозяйственного ПДК по нитрит-ионам. Вторую позицию занимают Южноуральские ГРЭС. Тепловое загрязнение от обеих очередей станции формирует специфический гидрохимический режим водохранилища и участка реки ниже плотины, выражающийся в снижении содержания растворённого кислорода и активизации процессов нитрификации. Хотя в период наших исследований концентрации загрязнителей в зоне влияния ГРЭС не превышали ПДК, сам характер пространственной динамики показателей указывает на значимый вклад станции в трансформацию качества воды. Третью позицию занимает диффузный сельскохозяйственный сток, влияние которого носит сезонный характер и наиболее выражено в период весеннего половодья. Четвёртую позицию – городской ливневый сток и рекреационная нагрузка, вклад которых эпизодичен, но в периоды интенсивных дождей или массового отдыха способен создавать локальные пики загрязнения.

Водная экосистема реки Увельки в районе Южноуральска испытывает постоянное многофакторное давление, основными слагаемыми которого являются недостаточно очищенные коммунально-бытовые стоки и тепловое загрязнение от ГРЭС. Сезонные пики сельскохозяйственного и ливневого стока накладываются на этот хронический фон, периодически обостряя

ситуацию. Способность реки к самоочищению снижена, а экосистема находится в состоянии хронического стресса, что подтверждается как данными собственных исследований, так и официальными сведениями государственного экологического мониторинга.

Выводы по третьей главе

Практическое исследование гидрохимических параметров воды реки Увельки в районе города Южноуральска охватило два контрастных гидрологических периода – осеннюю межень 2025 года и весеннее половодье 2026 года. Полученные данные позволили составить объективную картину пространственной и сезонной изменчивости качества воды и оценить вклад основных антропогенных источников в его формирование.

Пространственный анализ выявил ухудшение качества воды по мере продвижения от фонового створа в устье Кабанки к замыкающему створу ниже городских очистных сооружений. Наиболее отчётливо эта закономерность проявилась по содержанию нитрит-ионов в весенний период. Их концентрация возрастала от 24,9 мкг/дм^3 в фоновом створе до 93,8 мкг/дм^3 ниже очистных сооружений, причём последнее значение превысило рыбохозяйственный ПДК. Содержание растворённого кислорода, также последовательно снижалось от фонового створа к замыкающему: осенью с 8,5 до 4,5 мг/дм^3, весной с 9,2 до 8,4 мг/дм^3. При этом абсолютные значения в обеих точках оставались в пределах установленных нормативов. Концентрации ионов аммония во всех створах и в оба сезона находились на крайне низком уровне – от тысячных до сотых долей мг/дм^3, что свидетельствует об активном протекании процессов нитрификации и отсутствии застойных зон со свежим органическим загрязнением.

Сезонное сопоставление выявило принципиальные различия в характере антропогенной нагрузки. Осенняя межень характеризуется минимальной водностью и пониженной температурой воды, что ограничивает поступление диффузного стока, но делает реку наиболее уязвимой к точечным источникам.

Именно в этот период было зафиксировано самое резкое падение содержания растворённого кислорода после дамбы ГРЭС. Весеннее половодье, напротив, сопровождается активизацией диффузных источников. Паводковый смыв с сельскохозяйственных угодий сформировал пик перманганатной окисляемости в фоновом створе, превышающий рыбо-хозяйственный ПДК. Городские ливневые и талые воды добавили биогенные элементы непосредственно в черте города. Весна является периодом наибольшего экологического риска: именно в это время были зафиксированы оба случая превышения рыбо-хозяйственных ПДК.

Комплексная оценка вклада отдельных источников позволила выстроить их иерархию. Наибольшее воздействие по масштабу и устойчивости оказывают городские очистные сооружения. Они служат стабильным источником биогенных элементов, обусловливающим накопление нитритов и нитратов в замыкающем створе и единственное зафиксированное превышение ПДК. Вторую позицию занимают Южноуральские ГРЭС, формирующие специфический гидрохимический режим водохранилища и нижнего бьефа. Тепловое загрязнение снижает содержание кислорода в воде и ускоряет процессы нитрификации. Третью позицию занимает диффузный сельскохозяйственный сток, влияние которого носит сезонный характер и наиболее выражено в половодье. Городской ливневый сток и рекреационная нагрузка вносят эпизодический вклад, обостряя ситуацию в периоды интенсивных дождей и массового отдыха.

Сопоставление полученных результатов с данными государственного мониторинга показывает, что в период наблюдений ситуация была относительно благополучной. Но пространственная структура загрязнения, наличие превышений ПДК по отдельным показателям и данные многолетних наблюдений свидетельствуют о том, что экосистема реки находится в состоянии хронического стресса. Способность водотока к самоочищению снижена, и в годы с неблагоприятными гидрометеорологическими условиями баланс способен смещаться в сторону резкого ухудшения качества воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был проведён обзор информационных источников, посвящённый изучению теоретических основ формирования гидролого-гидрохимических показателей речных вод и механизмов поступления загрязняющих веществ в водную среду. Выполнен анализ физико-географических условий бассейна реки Увельки и возможного техногенного воздействия на неё в районе города Южноуральска. Проведён количественный анализ гидрохимических параметров воды, включающий определение содержания растворённого кислорода, перманганатной окисляемости, ионов аммония, нитрит-ионов и нитрат-ионов в двух гидрологических фазах – осеннюю межень и весеннее половодье.

По результатам выполненной работы можно сделать ряд выводов, демонстрирующих полноту решения поставленных задач.

1. Анализ источников информации показал, что гидрологический режим реки – сложная взаимосвязанная система, в которой изменение одного параметра неизбежно влечёт за собой изменение других. Химический состав речных вод формируется под совокупным влиянием природных условий водосбора и антропогенных факторов, наибольшее значение из которых имеют промышленные и коммунальные стоки, тепловое загрязнение, сельскохозяйственный смыв и ливневые воды.

2. Территория города Южноуральска и прилегающая часть бассейна реки Увельки подвержены интенсивной техногенной нагрузке Южноуральских ГРЭС-1 и ГРЭС-2, использующих Южноуральское водохранилище в качестве пруда-охладителя, что ведёт к тепловому загрязнению и изменению режима реки ниже плотины. Шлакоотстойники являются потенциальный источник фильтрационного загрязнения, городские очистные сооружения формируют устойчивый поток биогенных элементов, промышленные предприятия и сельскохозяйственные угодья – приток

органического вещества. Следствием комплексного воздействия является нестабильное экологическое состояние реки на исследуемом участке.

3. Для воды реки Увельки в замыкающем створе ниже городских очистных сооружений в весенний период выявлено 1,2-кратное превышение рыбохозяйственного ПДК по нитрит-ионам, обусловленное поступлением недостаточно очищенных коммунально-бытовых стоков и активизацией процессов нитрификации в условиях повышения температуры воды. В фоновом створе в устье Кабанки весной зафиксировано аналогичное превышение по перманганатной окисляемости, предположительно связанное с паводковым смывом органических веществ с сельскохозяйственных угодий. Наибольший вклад в загрязнение вносит створ №5, расположенный ниже очистных сооружений и характеризующийся минимальным содержанием растворённого кислорода в оба сезона и максимальными концентрациями окисленных форм азота.

4. Для исследованных проб воды характерны низкие концентрации ионов аммония, свидетельствующие о протекании процессов нитрификации и отсутствии застойных зон со свежим органическим загрязнением. Для большинства исследуемых точек характерно низкое содержание соединений азота, что указывает на отсутствие токсикологической опасности по данному показателю в исследуемый период. Но пространственная динамика качества воды, наличие превышений ПДК по нитритам и перманганатной окисляемости, а также данные государственного мониторинга свидетельствуют о том, что экосистема реки Увельки находится в состоянии хронического стресса, а её способность к самоочищению снижена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян А. Б. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – Москва : Мысль, 1987. – 325 с.

2. Алексин О. А. Основы гидрохимии: учеб. пособие / О. А. Алексин. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1970. – 44 с.

3. Алыкова Т.В. Химический мониторинг объектов окружающей среды / Т. В. Алыкова. – Астрахань : Издательство Астраханского государственного педагогического университета, 2002. – 210 с. – ISBN 5-88200-675-9

4. Алюшинская Н. М. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье / Н. М. Алюшинская. – Ленинград : Гидрометеорологическое издательство, 1973 – 849 с.

5. Андреева М. А. География Челябинской области : учебное пособие для учащихся 7–9 классов основной школы / М. А. Андреева, А. С. Маркова. – Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 2002. – 320 с. – ISBN 5-76880-788-8

6. Андреева М. А. Природа Челябинской области / М. А. Андреева, В. А. Бакунин. – Челябинск : Издательство ЧГПУ, 2000. – 269 с. – ISBN 5-85716-343-9

7. Андреева М. А. Реки Челябинской области: учебное пособие по спецкурсу / М. А. Андреева, В. Б. Калишев. – Челябинск : Абрис, 2013. – 104 с. – ISBN 978-5-91744-062-0

8. Аполлов Б. А. Учение о реках / Б. А. Аполлов. – Москва : Издательство МГУ, 1963. – 423 с.

9. Быстраков Ю. И. Экономика и экология / Ю. И. Быстраков, А. В. Колосов. – Москва : Агропромиздат, 2015. – 314 с.

10. Важнов А. Н. Гидрология рек / А. Н. Важнов. – Москва : Издательство МГУ, 1976. – 339 с.

11. Воронина Т. В. Гидрохимические особенности речных и озерных вод Урала и Приуралья / Т. В. Воронина // Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17. – № 1. – С. 110–112. – ISSN: 1998-4812

12. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии: учебник / В. А. Всеволожский. – Москва : Издательство МГУ, 2007. – 448 с. – ISBN: 978-5-211-045403-5

13. Вуглинский В. С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ / В. С. Вуглинский. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1991. – 168 с. – ISBN: 5-286-00604-3

14. Гитис М. С. Челябинская область. Краткий географический справочник / М. С. Гитис, С. Г. Захаров, А. П. Моисеев. – Челябинск : АБРИС, 2011 – 176 с. – ISBN: 978-5-91744-006-4

15. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – Москва : Минздрав России, 2003. – 84 с.

16. ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 19 с.

17. Гусева Т. В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Т. В. Гусева, Я. П. Молчанова, Е. А. Заика [и др.]. – Москва : Социально-экологический Союз, 2000. – 148 с.

18. Денисова А. И. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А. И. Денисова, Е. П. Нахшина, А. К. Рябов [и др.] – Киев : Наукова думка, 1987. – 164 с.

19. Дерпгольц В. Ф. Мир воды / В. Ф. Дерпгольц. – Ленинград : Недра, 1979. – 254 с.

20. Доклад об экологической ситуации в Челябинской области в 2022 году /Министерство экологии Челябинской области – Челябинск: [б.и.], 2023 – 208 с.

21. Интер РАО – Инжиниринг: Южноуральская ГРЭС-2 – URL: https://irao-engineering.ru/ru/projects/yuzhnouralskaya-gres-2-1/ (дата обращения: 20.04.2026)

22. Интер РАО – Электрогенерация: Филиал «ЮГРЭС-1» ООО «Каширская ГРЭС» – URL: https://irao-generation.ru/stations/yuralg/ (дата обращения: 20.04.2026)

23. Константинов А. С. Общая гидробиология / А. С. Константинов. – Москва : Высшая школа, 1986. – 472 с.

24. Кузьмина И. А. Содержание растворенного кислорода в воде / И. А. Кузьмина. – Великий Новгород : НовГУ, 2007. – 12 с.

25. Кутковский К. А. Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей / К. А. Кутковский // Молодой ученый. – 2013. – № 9. – С. 119.

26. Левит А. И. Южный Урал: География, экология, природопользование: учебное пособие / А. И. Левит. – Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 2005. – 246 с. – ISBN 5-7688-0781-0

27. Логинова Е. В. Гидроэкология / Е. В. Логинова, П. С. Лопух. – Минск : БГУ, 2011. – 300 с. – ISBN 978-985-518-547-6

28. Львович М. И. Реки СССР / М. И. Львович. – Москва : Мысль, 1971. – 348 с.

29. Михайлов В. Н. Гидрология устьев рек: учебник / В. Н. Михайлов. – Москва : Издательство МГУ, 1998. – 176 с. – ISBN 5-211-03807-X

30. Михайлов В. Н. Общая гидрология: учебник для географических специальностей вузов / В. Н. Михайлов, А. Д. Добровольский. – Москва : Высшая школа, 1991. – 398 с. – ISBN 5-06-000638-7

31. Никаноров А. М. Гидрохимия / А. М. Никаноров. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1989. – 351 с. – ISBN 6-286-01282-5

32. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ № 296 от 26.05.2025. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Федеральное агентство по

рыболовству – URL: https://docs.cntd.ru/document/1312976080 (дата обращения: 20.04.2026).

33. Парфенова Г. К. Эволюция техногенеза гидрохимических показателей качества вод урбанизированных территорий (на примере бассейна Верхней Оби) : автореф. дис. … докт. геогр. наук / Г. К. Парфенова. – Томск : Томский государственный университет, 2005. – 48 с.

34. Румянцева А. Я. Климат Челябинской области / А. Я. Румянцева. – Челябинск: ЧГПИ, 1988. – 84 с.

35. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены Постановлением Главного санитарного врача Российской Федерации №2 от 28.01.2021 г. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 469 с.

36. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – Москва : Минздрав России, 2002. – 62 с.

37. Сутягин А. А. Лабораторные работы по химии окружающей среды (химия воды) / А. А. Сутягин, В. В. Меньшиков, С. Г. Левина. – Челябинск : Издательство ЮУрГГПУ, 2021. – 116 с. – ISBN 978-5-907409-84-2

38. Сутягин А. А. Лабораторные работы по химическому анализу почв: учебное пособие / А. А. Сутягин, В. В. Меньшиков. – Челябинск : Издательство ЮУрГГПУ, 2022. – 162 с. – ISBN 978-5-907611-28-3

39. Сысоев А. Д. Очерки физической географии Челябинской области / А. Д. Сысоев. – Челябинск : ЧКИ, 1959. – 208 с.

40. Учватов В. П. Оценка антропогенного воздействия на химический состав речных вод / В. П. Учватов, Г. К. Булаткин // Водные ресурсы. – 1985. – № 5. – С. 135–141.

41. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек / И. А. Шикломанов. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1979. – 298 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Определение содержания растворённого кислорода в воде

Йодометрический метод определения содержания растворённого кислорода (метод Винклера) основан на способности гидроксида Mn^{2+} окисляться в щелочной среде до гидроксида Mn^{4+}, количественно связывая при этом кислород. В кислой среде гидроксид Mn^{4+} вновь переходит в Mn^{2+}, окисляя при этом эквивалентное связанному кислороду количество йодид-иона. Выделившийся йод оттитровывают тиосульфатом натрия в присутствии крахмала.

Предел обнаружения растворённого кислорода по данному методу составляет 0,05 мг/дм^3.

Реактивы: 1) раствор сульфата или хлорида Mn^{2+}; 2) щелочной раствор йодида калия; 3) соляная кислота, раствор 2:1; 4) тиосульфат натрия 0,02 Н; 5) крахмал, 0,5 % раствор.

Для приготовления раствора сульфата или хлорида Mn^{2+}, 400,00 г дигидрата сульфата Mn^{2+}, или 425,00 г тетрагидрата хлорида Mn^{2+}, растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до 1,0 дм³. Раствор фильтруют через бумажный фильтр.

Для приготовления щелочного раствора йодида калия 150,0 г йодида калия растворяют в 150 см³ дистиллированной воды. Отдельно растворяют 500,0 г гидроксида натрия или 700,0 г гидроксида калия в 500 см³ дистиллированной прокипяченной воды. Оба раствора смешивают, доводят объём до 1,0 дм³ дистиллированной водой.

Пробу воды отбирают в кислородную склянку с притёртой пробкой, наполняя её до краёв так, чтобы в ней не осталось пузырьков воздуха. Кислород фиксируют на месте сразу после отбора: в склянку вводят 1,0 см³ раствора сульфата или хлорида марганца и 1,0 см³ щелочного раствора йодида

калия на 100–150 см³ пробы, закрывают пробкой и тщательно перемешивают многократным перевёртыванием.

Перед титрованием (после оседания осадка) в склянку приливают 5 см³ соляной кислоты, закрывают пробкой и перемешивают до растворения осадка. Пробу переливают в коническую колбу и титруют раствором тиосульфата натрия до слабо-жёлтого окрашивания. Затем прибавляют 1 см³ раствора крахмала и продолжают титровать до исчезновения синей окраски. Содержание растворённого кислорода рассчитывают по объёму израсходованного тиосульфата натрия [37].

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Определение перманганатной окисляемости воды

Метод перманганатной окисляемости (метод Кубеля) основан на окислении веществ, присутствующих в воде, раствором перманганата калия в сернокислой среде при кипячении. Без разбавления этим методом можно определить окисляемость до 10 мгО/дм³.

Реактивы: 1) серная кислота, раствор 1:3; 2) серная кислота, раствор 1:15; 3) щавелевая кислота 0,01 Н; 4) основной стандартный раствор перманганата калия 0,1 Н.

Щавелевая кислота 0,01 Н готовится из фиксанала или путём растворения 0,6303 г безводной щавелевой кислоты в растворе серной кислоты (1:15) в мерной колбе объёмом 1 дм³. Основной стандартный раствор перманганата калия 0,1 Н готовится из фиксанала или путём растворения 3,2000 г перманганата калия в дистиллированной воде в мерной колбе объёмом 1 дм³. Раствор хранят в тёмной склянке.

Для проведения анализа готовят 200 см³ рабочего раствора перманганата калия разбавлением основного стандартного раствора в 10 раз. Определяют молярно-эквивалентную концентрацию полученного раствора: в коническую колбу наливают 100 см³ дистиллированной воды, прибавляют 10,0 см³ раствора щавелевой кислоты и 5 см³ серной кислоты (1:3). Смесь нагревают до кипения, охлаждают до 80–90 °С и титруют рабочим раствором перманганата до слабо-розовой окраски. Рассчитывают поправочный коэффициент раствора.

В коническую колбу помещают 100 см³ исследуемой воды, несколько «кипелок», приливают 5 см³ разбавленной серной кислоты (1:3) и 10,0 см³ рабочего раствора перманганата калия. Смесь нагревают до кипения и кипятят 10 минут. Если в процессе кипячения раствор потеряет розовую окраску или побуреет, определение повторяют, разбавив исследуемую воду. К горячему

раствору прибавляют 10,0 см³ 0,01 Н раствора щавелевой кислоты. Обесцвеченную горячую смесь титруют рабочим раствором перманганата до слабо-розового окрашивания. Одновременно проводят холостой опыт со 100 см³ дистиллированной воды. Величину перманганатной окисляемости рассчитывают по объёму израсходованного перманганата калия [37].

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Определение содержания аммиака и ионов аммония в воде с реактивом Несслера

Метод определения аммиака и аммонийного азота по Несслеру основан на способности аммиака и ионов аммония образовывать со щелочным раствором йодида Hg^{2+} йодид меркураммония, окрашенный в жёлтый цвет. Предел обнаружения NH_4^+ составляет 0,05 мг/дм³.

Реактивы: 1) реактив Несслера; 2) тартрат калия-натрия (сегнетова соль), 50 % раствор; 3) основной стандартный раствор хлорида аммония.

Для приготовления основного стандартного раствора хлорид аммония высушивают до постоянной массы при 100–105 °С. 2,965 г соли растворяют в дистиллированной безаммиачной воде в мерной колбе объёмом 1 дм³ и доводят объём до метки. Добавляют 2 см³ хлороформа.

Для построения калибровочного графика готовят стандартный рабочий раствор хлорида аммония разбавлением основного стандартного раствора в 20 раз. В ряд мерных колб вместимостью 50 см³ вносят 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 см³ рабочего стандартного раствора и доводят объём до метки безаммиачной водой. Приливают 1,0 см³ 50 % раствора тартрата калия-натрия и 1,0 см³ реактива Несслера, раствор перемешивают. Через 10 минут после прибавления реактива Несслера измеряют оптическую плотность растворов при длине волны 425 нм и толщине оптического слоя 3 см [37]. По полученным данным строят калибровочный график зависимости оптической плотности от концентрации ионов аммония (рисунок 7).

Для выполнения определения 50 см³ исследуемой воды обрабатывают и фотометрируют аналогично растворам сравнения. Концентрацию ионов аммония в пробе находят по калибровочному графику.

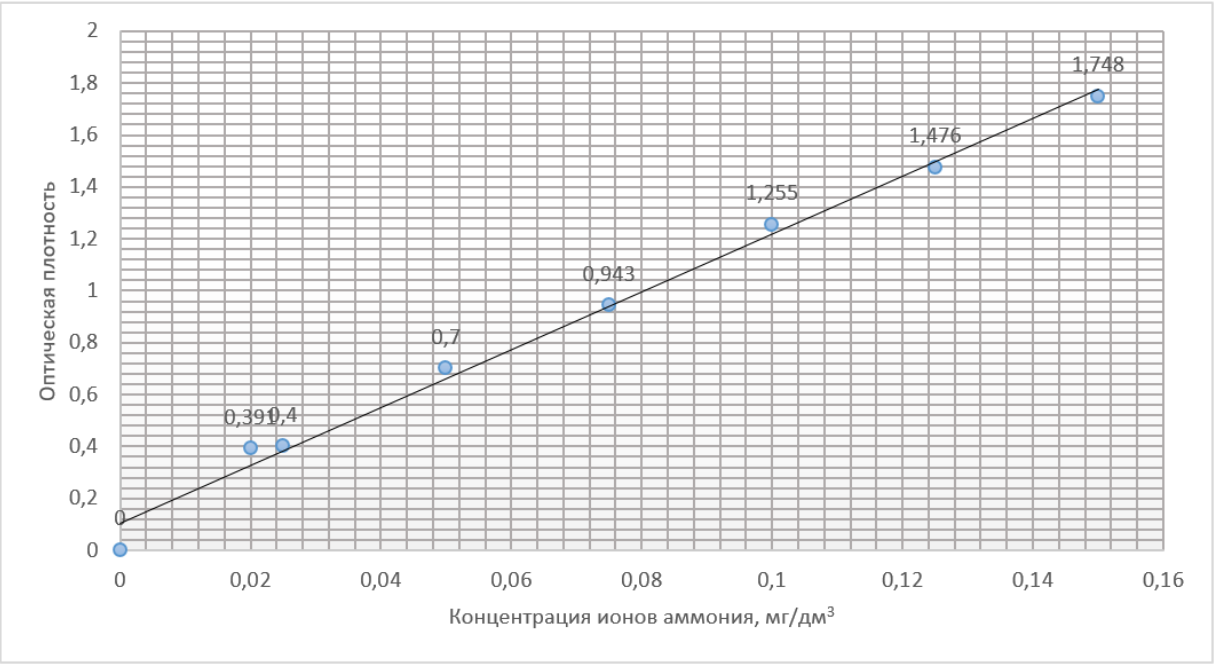


Рисунок 7 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации ионов аммония

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Фотометрический метод определения содержания нитритов в воде

Метод количественного определения нитритов основан на диазотировании сульфаниловой кислоты нитритами с последующим азосочетанием с α-нафтиламином с образованием красно-фиолетового азокрасителя. Реакция протекает в интервале pH = 1,7–3. Нижний предел обнаружения составляет 0,003 мг/дм³.

Реактивы: 1) реактив Грисса, 10 % раствор; 2) уксусная кислота, 12 % раствор; 3) основной стандартный раствор нитрита натрия.

Для приготовления основного стандартного раствора 1,4997 г $NaNO_2$ растворяют в мерной колбе вместимостью 1 дм³ в небольшом объёме дистиллированной воды и доводят до метки. Раствор законсервируют добавлением 1 см³ хлороформа, хранят в склянке из тёмного стекла. Реактив Грисса готовят растворением 10,0 г сухого реактива в 100 см³ 12 % раствора уксусной кислоты.

Для построения калибровочного графика готовят рабочий стандартный раствор нитрита натрия разбавлением основного стандартного раствора в 1000 раз. В мерные колбы объёмом 50 см³ вносят 0,0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0 см³ рабочего раствора $NaNO_2$ и доводят объём до метки дистиллированной водой. Растворы переносят в конические колбы на 100 см³, прибавляют 2,0 см³ раствора реактива Грисса, перемешивают. Через 40 минут (или через 10 минут при помещении пробы в водяную баню при температуре 50–60 °С) измеряют оптическую плотность при длине волны 520 нм и толщине оптического слоя 3 см [37]. По полученным данным строят калибровочный график зависимости оптической плотности от концентрации нитритов (рисунок 8).

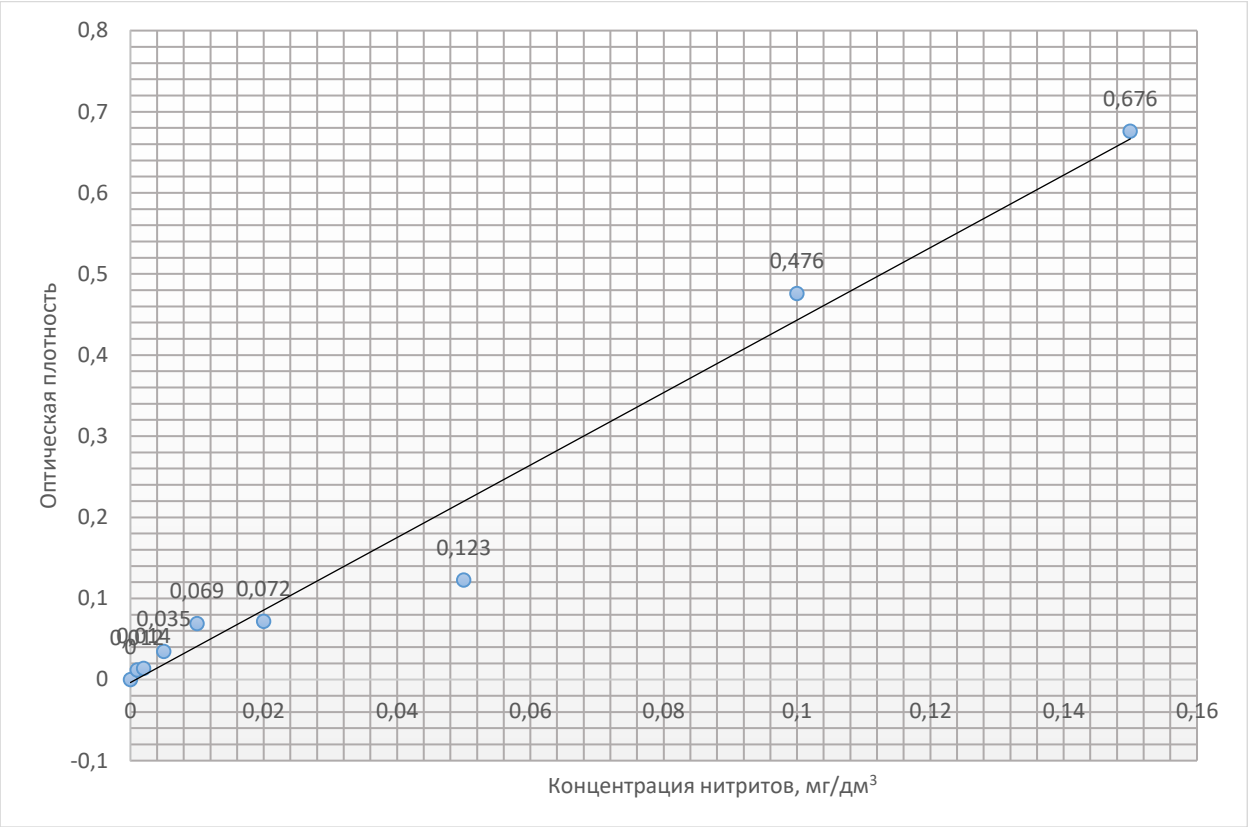


Рисунок 8 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации нитритов

Для проведения анализа 50 см³ пробы обрабатывают аналогично растворам сравнения и фотометрируют при тех же условиях. Концентрацию нитритов находят по калибровочному графику.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Определение нитратного азота в воде

Метод определения нитратного азота основан на восстановлении нитратной формы в нитритную с последующим определением нитритов реактивом Грисса. Восстановление проводят гидразином в нейтральной или слабокислой среде.

Реактивы: 1) раствор хлорида калия 1 Н; 2) раствор катализатора — сульфата Cu^{2+}; 3) запасной восстанавливающий раствор сульфата гидразина; 4) запасной окрашивающий раствор (сульфаниламид и α-нафтиламин в фосфорной кислоте); 5) щелочной раствор пирофосфата натрия; 6) основной стандартный раствор нитрата калия; 7) трилон Б кристаллический.

Для приготовления раствора катализатора 2,5 г медного купороса растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до 1 дм³. Запасной восстанавливающий раствор: 27,5 г сульфата гидразина растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до 1 дм³. Запасной окрашивающий раствор: в мерную колбу объёмом 1 дм³ наливают около 500 см³ дистиллированной воды, прибавляют 100 см³ фосфорной кислоты, 5 г сульфаниламида и 1 г нафтиламина, после растворения доводят объём до метки. Щелочной раствор пирофосфата натрия: 5,0 г пирофосфата натрия и 8,0 г гидроксида натрия растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до 1 дм³. Основной стандартный раствор нитрата калия: 0,1631 г нитрата калия растворяют в дистиллированной воде и доводят объём до 1 дм³.

Для построения градуировочного графика в ряд мерных колб объёмом 50 см³ вливают 0; 0,25; 0,35; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 2,00; 2,50; 3,00; 3,50; 5,00 см³ основного стандартного раствора нитрата калия. Прибавляют 10 см³ щелочного раствора пирофосфата натрия и 10 см³ рабочего восстанавливающего раствора (смесь 6 см³ раствора катализатора и 200 см³ запасного восстанавливающего раствора, доведённая до 1 дм³),

перемешивают. Через 10 минут приливают 25 см³ рабочего окрашивающего раствора (запасной окрашивающий раствор, разбавленный водой в соотношении 1:4, с добавлением 0,2 г трилона Б на 1 дм³), перемешивают. Оставляют на 15 минут и измеряют оптическую плотность при длине волны 545 нм и толщине оптического слоя 3 см [38]. По полученным данным строят градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации нитратов (рисунок 9).

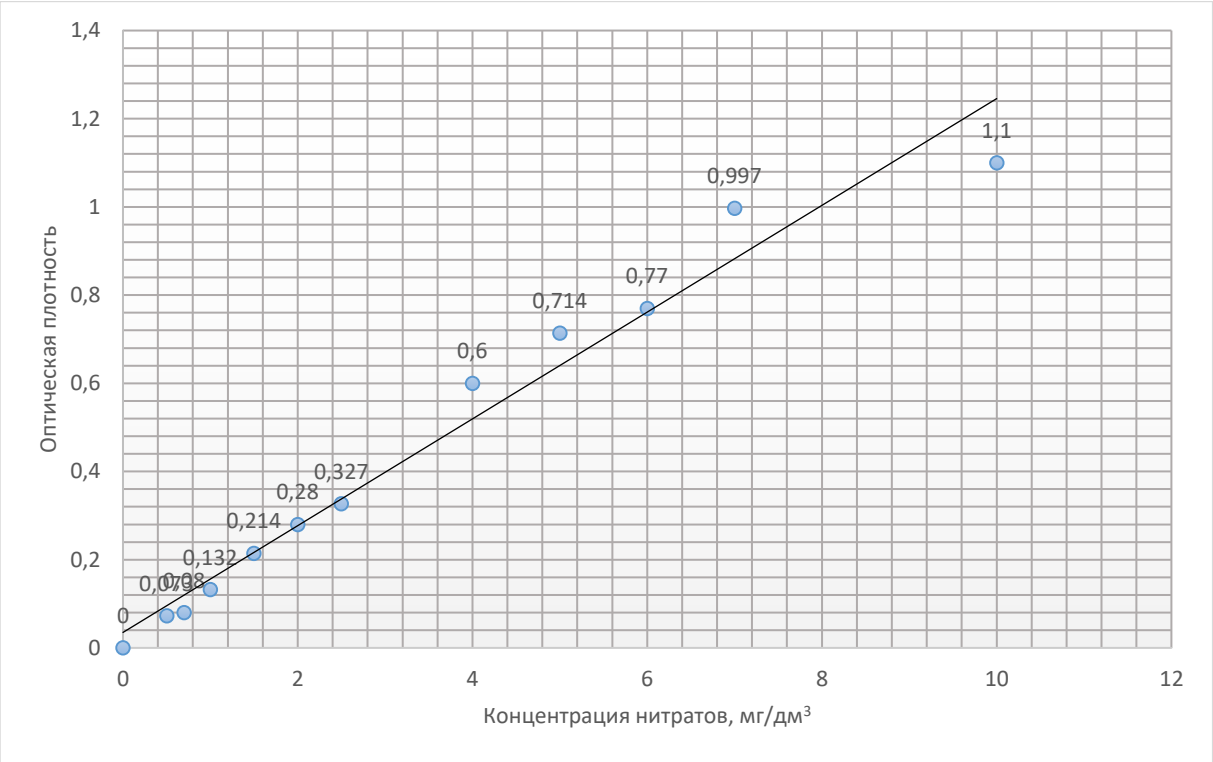


Рисунок 9 – Зависимость оптической плотности раствора от концентрации нитратов

Для количественного определения нитратов 5 см³ пробы обрабатывают и фотометрируют аналогично построению градуировочного графика. Концентрацию нитратов находят по градуировочному графику.