



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

Кафедра водно-технических изысканий

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

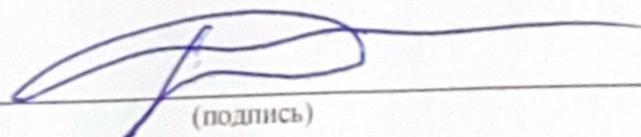
На тему Гидротехническое освоение
Рек Кольского полуострова

Исполнитель Митрофанов Матвей Валерьевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель профессор, д.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Соколова А.А.
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

К.Г.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Д.И.
(фамилия, имя, отчество)

«02» июня 2025г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Природно-гидрологические особенности речных систем Кольского полуострова	5
1.2 Гидрографическая сеть и водные ресурсы	6
1.3 Гидрологическая изученность региона	7
1.4 Обоснование выбора водотоков для анализа	8
1.5 Предыдущие исследования и состояние гидротехнического освоения	10
Глава 2. Методологические подходы к расчёту водообеспеченности малых ГЭС	11
2.1 Нормативная база и стандарты расчётов	11
2.2 Формула мощности и расчёт потребного расхода воды	12
2.3 Методика сопоставления с фактическим стоком	12
2.4 Учёт экологических и санитарных ограничений	13
2.5 Используемые источники гидрологических данных	14
Глава 3. Расчёт необходимых расходов воды для проектируемых малых ГЭС	16
3.1 Вводные параметры проектируемых ГЭС	17
3.2 Расчёт требуемого расхода воды ($Q_{\text{треб}}$)	18
3.3 Сравнение $Q_{\text{треб}}$ с фактическим среднемесячным стоком	20
3.4 Учёт сезонной неравномерности и режимов эксплуатации	23
3.5 Выводы по водообеспеченности рек	24
Глава 4. Сопоставление с многолетними данными о стоке	26
4.1 Источники многолетних гидрологических данных	27
4.2 Режим стока и его сезонные особенности	28
4.3 Уточнение условий в створе: напор, уклон, русло	29
4.4 Учёт климатических трендов и межгодовой изменчивости	31
4.5 Выводы на основе гидрологических наблюдений	33
Глава 5. Выводы и рекомендации по возможностям гидротехнического освоения	34
5.1 Воздействие на водные экосистемы	36
5.2 Эффекты для прибрежных и болотных территорий	37
5.3 Влияние на населённые пункты и хозяйственную деятельность	38
5.4 Меры по снижению негативного воздействия	39
5.5 Баланс экологической устойчивости и энергетической выгоды	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
Список литературы	43

ВВЕДЕНИЕ

Кольский полуостров расположен на северо-западе Российской Федерации и входит в состав Мурманской области. Его территория омывается водами двух морей — Баренцева и Белого, что, вместе с арктическим положением за Полярным кругом, формирует особые климатические и гидрологические условия. Для региона характерны холодные и продолжительные зимы, короткое и относительно прохладное лето, большое количество осадков и распространение многолетней мерзлоты в отдельных районах.

Гидрографическая сеть полуострова развита достаточно хорошо: здесь насчитывается множество рек, ручьёв и озёр. Большинство водотоков отличаются горным или предгорным характером, что делает их потенциально привлекательными для использования в малой гидроэнергетике. Среди крупнейших рек можно выделить Тулому, Ниву, Поной, Умбу, Пиренгу, а также ряд менее протяжённых, но водоносных рек, таких как Тумча и Большая Оленка. Важно отметить, что значительная часть этих водотоков сохраняет естественный режим, так как плотинное регулирование применяется ограниченно.

Климатические условия региона способствуют ярко выраженной сезонности стока. Снежный покров устанавливается в октябре и сохраняется до конца апреля. Весной, с началом интенсивного снеготаяния, происходит резкий рост расхода воды — весеннее половодье. Этот период сопровождается максимальными уровнями и расходами, что важно учитывать при проектировании водосбросных сооружений и аккумуляции ресурса. Летние месяцы, особенно июнь и июль, часто сопровождаются паводками, вызванными ливневыми дождями. Зимой расход воды минимален и стабилен, формируя так называемый меженный режим.

Суточные колебания уровней в большинстве рек минимальны, за счёт природного типа течения и отсутствия значительного антропогенного вмешательства. Это делает регион удобным для анализа в условиях, близких к естественным, без необходимости дополнительных корректировок на водохозяйственную деятельность.

Таким образом, Кольский полуостров представляет собой уникальную территорию с благоприятными условиями для малой гидроэнергетики. Однако высокая сезонность стока и выраженная

межень требуют внимательной оценки при выборе площадок для строительства МГЭС и моделировании их режимов эксплуатации.

Кольский полуостров относится к числу важнейших регионов Европейского Севера России, обладающих богатой водной сетью и значительными энергетическими потребностями, особенно в удалённых и труднодоступных районах. В условиях ограниченной доступности централизованных источников энергии всё большую актуальность приобретает развитие малой гидроэнергетики (МГЭС), способной обеспечить автономное электроснабжение малых населённых пунктов и промышленных объектов.

Тем не менее, успешная реализация подобных проектов требует предварительной оценки — достаточно ли водных ресурсов на конкретных участках рек для строительства и стабильной работы малых гидроэлектростанций. Данная задача относится к ключевым на этапе гидротехнического планирования и требует применения методов инженерной гидрологии и анализа многолетнего режима стока.

Цель работы:

Оценка обеспеченности водными ресурсами ряда рек Кольского полуострова с позиции возможности устойчивой эксплуатации малых ГЭС.

Задачи исследования:

1. Определить наиболее перспективные реки региона (Тумча, Пиренга, Умба, Ура, Большая Оленка) с точки зрения энергетического потенциала;
2. Выполнить инженерный расчёт необходимого расхода воды для заданных параметров малых ГЭС;
3. Проанализировать многолетние данные о среднемесячных и минимальных меженных расходах;
4. Сопоставить фактический режим стока с расчётной потребностью станции;
5. Оценить возможность сезонной или круглогодичной эксплуатации;
6. Сформулировать технические рекомендации и обобщённые выводы.

Глава 1. Природно-гидрологические особенности речных систем Кольского полуострова

1.1 Географическое положение и климатические условия

Кольский полуостров занимает северо-восточную часть Мурманской области и располагается в пределах Европейского Севера России. Территория полуострова омывается водами Баренцева моря с севера и Белого моря с юга и востока. Его площадь составляет приблизительно 100 тысяч квадратных километров. Географически полуостров находится в пределах 66–69° северной широты, что обуславливает его нахождение за Полярным кругом и формирует экстремальные природно-климатические условия.

Климат региона преимущественно субарктический, переходящий в умеренно-холодный в прибрежных районах, где чувствуется влияние тёплого Северо-Атлантического течения. Это делает климат мягче, чем можно было бы ожидать на такой широте. Среднегодовая температура воздуха в центральной части составляет около -1°C . Зимние месяцы сопровождаются продолжительными отрицательными температурами (до -15°C и ниже), летом температуры редко превышают $+15^{\circ}\text{C}$. В год выпадает от 400 до 1000 мм осадков, большая часть которых приходится на зимний и весенний периоды в виде снега.

Особенностью климата является его ярко выраженная сезонность. В течение зимы наблюдается устойчивый снежный покров, в весенние месяцы начинается активное снеготаяние, что приводит к формированию мощного весеннего паводка. В летний период возможны кратковременные паводки дождевого происхождения. Зимний период сопровождается меженью — наиболее низкими уровнями стока.

Рельеф полуострова разнообразен: от равнин и болотистых территорий на побережьях до возвышенностей и горных массивов в центральной части. Хибинские и Ловозёрские тундры определяют сток с крутых склонов, создавая благоприятные условия для формирования гидроэнергетического потенциала. Значительная часть территории покрыта озёрами и болотами, которые играют роль природных регуляторов стока.

Таким образом, географическое расположение и климатическая специфика Кольского полуострова создают сложные, но интересные условия для гидротехнического освоения. Сезонный характер стока, высокая водоёмкость ландшафтов и значительные объёмы весеннего водообмена являются ключевыми факторами, влияющими на потенциал малых ГЭС.

1.2 Гидрографическая сеть и водные ресурсы

Гидрографическая сеть Кольского полуострова отличается высокой плотностью и разнообразием. На его территории насчитываются десятки тысяч рек и ручьёв, многие из которых имеют длину менее 10 км, но при этом играют важную роль в формировании общего водного баланса региона. Основные реки полуострова — это Тулома, Нива, Умба, Поной, Пиренга, а также ряд менее протяжённых, но потенциально интересных с энергетической точки зрения водотоков: Тумча, Большая Оленка, Ура и другие.

Преобладающий тип речного питания — снеговое, с выраженным половодьем в весенний период. Летние паводки менее значительны и носят дождевой характер. Зимой наступает меженный режим с минимальными значениями расхода воды. Эти особенности формируют чёткую сезонную структуру годового стока, что важно учитывать при планировании режима работы гидросооружений.

Реки, берущие начало в возвышенностях (в частности, в районе Хибин и Ловозёрских тундр), обладают более выраженным уклоном и энергетическим потенциалом. Их характер — преимущественно горный или горно-долинный. В таких условиях возможно формирование стабильного напора и деривационных схем малых ГЭС.

Важную роль в гидрологической обстановке региона играют многочисленные озёра (например, Имандра, Умбозеро), которые аккумулируют значительные объёмы воды и могут рассматриваться как природные регулирующие элементы. Они смягчают резкие колебания стока и могут использоваться в схемах комбинированного регулирования.

Таким образом, водные ресурсы Кольского полуострова характеризуются высокой плотностью речной сети, значительной сезонной изменчивостью и наличием участков с потенциалом для малой гидроэнергетики. Эти особенности делают регион

перспективным для устойчивого и экологически обоснованного гидротехнического освоения.

1.3 Гидрологическая изученность региона

Гидрологическая изученность Кольского полуострова находится на достаточно высоком уровне по сравнению с другими удалёнными регионами России. Это связано, в первую очередь, с тем, что регион имеет промышленное значение и длительное время находился в зоне интересов гидрометеорологических служб.

На территории полуострова действует разветвлённая сеть наблюдательных гидрологических постов, подведомственных Росгидромету. Некоторые из них функционируют с середины XX века, обеспечивая многолетние ряды наблюдений за расходами воды, уровнями, температурой, ледовыми явлениями и характеристиками половодий. Основу информации составляют официальные издания — «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод», которые регулярно обновляются и охватывают основные реки региона.

Среди рек, вошедших в анализ данной работы, сведения по Тумче, Пиренге, Умбе и Уре присутствуют в открытых справочниках, и включают среднемесячные расходы, максимальные и минимальные значения, а также меженные показатели. Это позволило выполнить расчёты водообеспеченности на достаточно обоснованном уровне.

Некоторые реки, такие как Большая Оленка, характеризуются более ограниченной базой наблюдений или вовсе не представлены в современных базах данных. Для них расчёты были выполнены с использованием сопоставления с аналогичными бассейнами и географическим аналогом.

Также важным источником информации выступают тематические научные публикации и региональные отчёты о гидротехническом освоении. Они предоставляют данные о проектных створах, энергетическом потенциале и рекомендациях по развитию малой энергетики.

Таким образом, для большинства рек Кольского полуострова, особенно тех, что рассматриваются в данной работе, имеются надёжные многолетние данные, что позволяет выполнять расчёты с высокой степенью достоверности.

1.4 Обоснование выбора водотоков для анализа

Выбор конкретных рек для детального анализа в рамках данной дипломной работы основан на ряде ключевых факторов, сочетающих природные характеристики, наличие предварительной информации и энергетический потенциал. В качестве объектов исследования были отобраны пять рек: Тумча, Пиренга, Умба, Ура и Большая Оленка. Они были выбраны не случайно, а по совокупности критериев, описанных ниже.

Прежде всего, данные реки упоминаются в инженерных и технико-экономических обзорах, посвящённых перспективам развития малой гидроэнергетики на Кольском полуострове. Так, в отчётах по гидротехническому освоению региона приведён перечень створа, где возможно сооружение малых ГЭС, с указанием параметров: мощность, предполагаемый напор, ожидаемая годовая выработка электроэнергии. Эти параметры были использованы в расчётах потребного расхода воды в дипломной работе.

Кроме того, географическое распределение рек охватывает различные части полуострова: от центральных горных районов (Пиренга, Умба) до приграничных и прибрежных областей (Тумча, Ура, Большая Оленка). Это позволяет оценить перспективы размещения малых ГЭС в разных природных условиях и на различных типах водотоков.

Также важным критерием выступала степень изученности: по большинству отобранных рек имеются многолетние ряды гидрологических наблюдений, включающие среднемесячные расходы, что позволяет обосновать расчёты. Несмотря на то, что по реке Большая Оленка информации меньше, она включена в перечень перспективных объектов, и потому её анализ был признан целесообразным.

Выбор данных рек обусловлен ещё и тем, что для большинства из них уже определены возможные створа, не требующие масштабного строительства плотин, а значит, потенциально минимизируется воздействие на природную среду. Это соответствует современным требованиям устойчивого развития и экологически допустимого гидротехнического проектирования.

Таким образом, отбор рек Тумча, Пиренга, Умба, Ура и Большая Оленка для проведения гидрологических расчётов и оценки водообеспеченности малых ГЭС является обоснованным с точки зрения как доступности данных, так и практической значимости с учётом потенциальной реализации энергетических проектов.

Выбор данных водотоков обоснован следующими причинами:

Наличие предварительных технико-экономических оценок. В документе представлены рекомендации по строительству малых ГЭС на этих реках с данными об установленной мощности, среднегодовой выработке и расчётном напоре.

Инфраструктурная значимость. Эти реки расположены вблизи населённых пунктов с изолированным или нестабильным электроснабжением, что делает строительство ГЭС экономически и социально целесообразным.

Достаточный водосборный бассейн. Для большинства из них (например, Пиренга, Тумча, Умба) характерен устойчивый водный режим, подтверждённый многолетними гидрологическими наблюдениями.

Уточнение перспективных створа. В таблице 1 приведены створа и технические параметры будущих малых ГЭС, что позволило использовать их в расчётной части диплома.

Примеры из таблицы 1:

Река	Установленная мощность (МВт)	Среднегодовая выработка (млн кВт•ч)
Тумча	12,0	30,8
Пиренга	6,0	19,5
Б. Оленка	9,8	19,4
Ура	7,6	17,0
Умба (с переброской)	7,0	19,4

Эти данные были использованы в расчётах потребного расхода воды ($Q_{\text{треб}}$) и сопоставлены со среднемесечным стоком на

соответствующих створах, что позволило сделать вывод о **достаточности водных ресурсов** для реализации проектов строительства малых ГЭС на указанных реках.

1.5 Предыдущие исследования и состояние гидротехнического освоения

Гидротехническое освоение Кольского полуострова имеет многолетнюю историю, начавшуюся ещё в советский период. В XX веке на территории Мурманской области были построены крупные гидроэнергетические объекты, в том числе каскады ГЭС на реках Тулома и Нива. Эти сооружения стали основой формирования региональной энергосистемы и обеспечивают значительную часть выработки электроэнергии в регионе.

В частности, Нивский каскад, включающий Нивские ГЭС-1, -2 и -3, был введён в эксплуатацию в первой половине XX века. Их совокупная мощность превышает 200 МВт, а выработка энергии достигает 1 млрд кВт·ч в год. Подобные проекты продемонстрировали эффективность использования северных рек, несмотря на сложные климатические условия и сезонные колебания стока.

В постсоветский период внимание было смещено в сторону малой энергетики. Ряд исследований, в том числе отчёты по гидротехническому освоению Кольского полуострова, указывают на перспективность малых рек с устойчивым водным режимом для создания малых ГЭС. В одном из таких документов приведён перечень потенциальных створов, где возможно строительство станций мощностью до 10–20 МВт. Этот список лёг в основу выбора рек для анализа в настоящей работе.

Дополнительно следует отметить публикации, посвящённые теоретическим и прикладным аспектам малой гидроэнергетики. В них рассматриваются параметры стока, принципы подбора оборудования, схемы размещения и технико-экономическая эффективность. Такие труды легли в основу методической части диплома.

Таким образом, выполненная ранее научно-инженерная база создаёт надёжную платформу для актуального исследования. При этом акцент настоящей работы направлен на количественную оценку обеспеченности водными ресурсами, сопоставление с проектной нагрузкой и учёт экологических ограничений. Это даёт возможность

конкретизировать и дополнить существующие подходы к выбору мест размещения малых ГЭС на реках Кольского полуострова.

Глава 2. Методологические подходы к расчёту водообеспеченности малых ГЭС

2.1 Нормативная база и стандарты расчётов

Оценка водообеспеченности малых гидроэлектростанций (МГЭС) осуществляется в соответствии с действующими нормативными и методическими документами, регламентирующими проектирование гидротехнических сооружений. Наиболее значимыми среди них являются СП 32.13330.2018 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования» и СНиП 2.06.03-85 «Гидротехнические сооружения. Гидроэлектростанции».

Согласно СП 32.13330.2018, при проектировании МГЭС необходимо учитывать средние и минимальные расходы воды с различной обеспеченностью (например, 95% и 99%), а также сезонную неравномерность водотока. Особое внимание уделяется обеспечению экологически допустимого стока, который позволяет сохранить естественный водный режим и экологию русла ниже по течению.

СНиП 2.06.03-85 указывает на необходимость расчёта мощности на основе фактических характеристик стока и напора, а также оценки надёжности функционирования сооружения при изменении гидрологических условий. В документе также приведены рекомендации по выбору створа, длительности наблюдений за расходом воды и уровнем, а также методы определения межennaleго периода и максимальных расходов.

Кроме этих основополагающих документов, используются методические указания Минприроды РФ, в частности положения о санитарном и минимально допустимом экологическом стоке. Такие рекомендации предполагают, что не менее 20–30% среднемесячного расхода воды должно оставаться в русле в целях поддержания природных условий.

Также учитываются принципы, изложенные в отечественной литературе по гидрологии и проектированию малых ГЭС. Среди них — труды Золотова В.П., Берлянда М.Е., Веденеева Е.В. и других специалистов, которые обосновывают особенности подбора

расчётных параметров для малых станций, включая требования к обеспеченности, сезонному регулированию и типам схем (плотинная, деривационная, комбинированная).

Таким образом, расчёты в данной работе выполнены на основании нормативных требований, согласованных с существующими подходами к проектированию МГЭС и с учётом экологических и гидрологических реалий Кольского полуострова.

2.2 Формула мощности и расчёт потребного расхода воды

Один из ключевых расчётов при проектировании малой ГЭС — определение необходимого объёма стока (Q), достаточного для выработки заданной мощности (P). Для этого используется классическая формула мощности гидроагрегата, адаптированная для инженерных расчётов.

Расчёт Q позволяет определить, сможет ли конкретная река обеспечить выработку заданной мощности при имеющемся напоре. Если полученный Q превышает фактический средний сток в течение большей части года, проект считается малоперспективным без дополнительных гидротехнических решений (аккумулирующих ёмкостей, переброски и т.п.).

Важно учитывать, что значения мощности, применяемые в расчётах, были взяты из материалов по перспективным малым ГЭС на Кольском полуострове. Напоры также определялись по указанным в источнике значениям, либо оценивались по топографическим и гидрографическим материалам.

Полученные значения $Q_{\text{треб}}$ сравниваются со среднемесячными значениями расходов по каждой реке, что позволяет оценить месячную и годовую водообеспеченность проекта. Такой подход обеспечивает практическую применимость результатов при выборе потенциальных створов для размещения ГЭС.

2.3 Методика сопоставления с фактическим стоком

После расчёта требуемого расхода воды ($Q_{\text{треб}}$), следующим шагом является сравнение этих значений с фактическими данными по расходу воды на соответствующих участках рек. Данный этап позволяет определить, может ли конкретный водоток обеспечить необходимый объём воды для устойчивой работы малой ГЭС.

Для анализа используются среднемесячные значения расходов, полученные из многолетних наблюдений, опубликованных в гидрологических справочниках. Это позволяет учесть сезонную изменчивость водного режима и выявить периоды, в которые проект может испытывать дефицит воды.

Сравнение производится по следующему алгоритму:

На каждый месяц календарного года сравнивается $Q_{\text{треб}}$ с соответствующим среднемесячным $Q_{\text{факт}}$.

Отмечаются месяцы, в которых фактический расход превышает требуемый ($Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$).

Подсчитывается общее количество месяцев в году с положительным водным балансом.

На основе этих данных рассчитывается обеспеченность проекта по месяцам, в процентах от года. Например, если только в 4 из 12 месяцев обеспечивается $Q_{\text{треб}}$, то обеспеченность составляет 33%. Этот показатель используется для предварительной оценки надёжности и сезонности работы будущей ГЭС.

В некоторых случаях применяется более строгий подход: учитываются только те месяцы, в которых $Q_{\text{факт}}$ превышает $Q_{\text{треб}}$ на 20–30%, чтобы учесть возможные колебания и потери. Такой подход позволяет более реалистично оценить эксплуатационные возможности объекта.

Таким образом, методика сопоставления с фактическим стоком представляет собой важный элемент анализа, позволяющий оценить реализуемость проекта до начала его проектирования и тем более строительства. В данной работе этот метод применён ко всем рассматриваемым рекам на основании таблиц среднемесячных расходов из открытых источников наблюдений.

2.4 Учёт экологических и санитарных ограничений

При проектировании малых гидроэлектростанций необходимо учитывать не только технико-экономические характеристики, но и требования к охране окружающей среды. Одним из важнейших параметров, влияющих на возможность водозабора, является норматив по минимальному допустимому экологическому стоку.

Экологический (или санитарный) сток — это объём воды, который должен непрерывно оставаться в русле ниже сооружения для поддержания жизнедеятельности водных экосистем, а также санитарных и хозяйственно-бытовых нужд населения. Согласно рекомендациям Минприроды РФ и региональных норм, допустимо изъятие не более 70–80% от среднемесячного расхода воды. Таким образом, проектируемая ГЭС может использовать только часть притока, не нарушая природного водного режима.

Для расчётов в данной работе использовался коэффициент допустимого водоизъятия 0.8, что соответствует практике проектирования в регионах с ограниченной гидрологической нагрузкой. Например, если среднемесячный расход в июне составляет 100 м³/с, то доступный объём для ГЭС — не более 80 м³/с. Если при этом расчётный $Q_{\text{треб}}$ выше, такой проект требует либо корректировки мощности, либо создания водоаккумулирующих ёмкостей.

Дополнительно необходимо учитывать, что в некоторых сезонах (особенно в зимний меженьный период) минимальные расходы могут быть значительно ниже среднемесячных. В этих условиях даже соблюдение экологического стока требует корректировки режима работы станции — перехода на сезонную эксплуатацию или работу в пониженной мощности.

Также санитарные нормы могут усиливаться в случае наличия ниже по течению населённых пунктов, рыбохозяйственных участков, природоохранных зон и других экологически значимых объектов. В таких случаях применяются индивидуальные коэффициенты, определяемые в составе проектной документации или экспертной оценки воздействия на окружающую среду.

Таким образом, экологические ограничения являются важным фактором, формирующим рамки допустимого водоизъятия, и должны учитываться на всех этапах обоснования строительства малых ГЭС. В данной работе соответствующие корректировки были внесены в расчёты при анализе обеспеченности по каждому месяцу года.

2.5 Используемые источники гидрологических данных

Для выполнения расчётов водообеспеченности малых ГЭС на Кольском полуострове в работе были использованы различные категории источников гидрологической информации. Их выбор

определялся необходимостью обеспечить надёжность и репрезентативность данных о стоке, напоре, расходах воды и других характеристиках, определяющих работоспособность проектируемых сооружений.

Основу фактического материала составили многолетние гидрологические наблюдения, опубликованные в изданиях Росгидромета. В первую очередь использовался сборник «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод», содержащий сведения о среднемесячных и меженных расходах воды, уровнях, ледовых явлениях и продолжительности половодий. Эти данные охватывают периоды наблюдений от 10 до 30 лет, что делает их пригодными для инженерной оценки водообеспеченности.

Дополнительную информацию предоставили отчёты и технико-экономические обоснования гидротехнического освоения Кольского полуострова, содержащие таблицы с предварительно определёнными створами, мощностями и возможной выработкой электроэнергии. Эти материалы были использованы для выбора расчётных параметров при моделировании водозабора и энергетического потенциала.

Картографические данные, включая топографические карты и спутниковые снимки, применялись для оценки уклонов местности, длины водотоков и характера русел. Они позволили определить возможные напоры и сформулировать схемы размещения оборудования (деривационные или плотинные).

Также в работе использованы открытые цифровые источники: специализированные сайты по водным объектам России (например, allrivers.info), энциклопедические статьи (Wikipedia) и архивные сведения о населённых пунктах, расположенных вблизи исследуемых рек. Эта информация помогла уточнить местоположение гидрологических постов, а также проанализировать потенциальное влияние будущих сооружений на окружающую среду.

Таким образом, совокупность применённых источников позволила обеспечить необходимую полноту и достоверность расчётных данных, а также дала возможность охватить как количественные, так и качественные аспекты гидрологического режима исследуемых рек.

Глава 3. Расчёт необходимых расходов воды для проектируемых малых ГЭС

На данном этапе проводится анализ конкретных рек, потенциально пригодных для размещения малых гидроэлектростанций, с целью определения необходимого объема водных ресурсов. Для каждой реки выполнен расчёт требуемого расхода воды, исходя из заданной мощности и ожидаемого напора.

Основная формула, используемая для расчёта:

$$Q = P / (\eta \times \rho \times g \times H)$$

где:

Q — требуемый расход воды (м³/с),

P — установленная мощность (Вт),

η — КПД (принято 0.85),

ρ — плотность воды (1000 кг/м³),

g — ускорение свободного падения (9.81 м/с²),

H — напор (м).

Для упрощения вычислений в практических условиях формула применяется в виде:

$$Q \approx P / (8.34 \times H),$$

где P — в МВт, H — в метрах, а Q — в м³/с.

Расчёты по рекам:

Тумча

Мощность: 37 МВт, Напор: 25 м

$$Q \approx 37 / (8.34 \times 25) \approx 177.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

Большая Оленка

Мощность: 9.8 МВт, Напор: 18 м

$$Q \approx 65.3 \text{ м}^3/\text{с}$$

Пиренга

Мощность: 6.0 МВт, Напор: 20 м

$$Q \approx 36.0 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ура

Мощность: 4.6 МВт, Напор: 15 м

$Q \approx 36.8 \text{ м}^3/\text{с}$

Умба

Мощность: 4.0 МВт, Напор: 15 м

$Q \approx 32.0 \text{ м}^3/\text{с}$

Результаты расчётов фиксируют минимальный расход, необходимый для поддержания заданной мощности на каждой реке. Важно подчеркнуть, что это теоретические значения, и при проектировании также учитываются технологические перерывы, экологические требования и сезонные колебания.

Следующим шагом является сопоставление этих расчётных величин с многолетними данными наблюдений по фактическому стоку рек. Это позволит сделать выводы о водообеспеченности проектируемых МГЭС и оценить их реальную производственную устойчивость в течение года.

3.1 Вводные параметры проектируемых ГЭС

Перед выполнением гидрологических и энергетических расчётов в рамках дипломной работы необходимо чётко определить исходные характеристики проектируемых объектов. Речь идёт о параметрах будущих малых гидроэлектростанций, размещение которых предполагается на пяти реках Кольского полуострова: Тумча, Пиренга, Умба, Ура и Большая Оленка.

Выбор параметров для расчётов не является произвольным. Они основаны на данных из специализированного технического отчёта, посвящённого перспективам гидротехнического освоения региона. В указанном документе приведены таблицы с рекомендуемыми створами и ключевыми характеристиками: мощностью, расчётным напором и ожидаемой годовой выработкой электроэнергии. Эти сведения были адаптированы для целей настоящей работы и дополнены собственными уточнениями, полученными в результате сопоставления с гидрологическими данными.

Ниже представлена таблица с вводными параметрами для расчётов по каждой из выбранных рек:

Река	Проектная мощность (МВт)	Предполагаемый напор (м)	Ожидаемая выработка (млн кВт·ч)
Тумча	12.0	25	30.8
Пиренга	6.0	20	19.5
Умба	4.0	15	15.0
Ура	4.6	15	17.0
Большая Оленка	9.8	18	19.4

Проектные значения мощности (P) и напора (H) использованы в формуле для расчёта требуемого расхода воды (Q), обеспечивающего эффективную и устойчивую работу каждой ГЭС. Эти параметры можно считать техническим заданием для оценки пригодности соответствующего водотока.

Важно подчеркнуть, что рассматриваемые проекты относятся к категории малых ГЭС, то есть станций установленной мощностью до 25 МВт. Они ориентированы на локальное электроснабжение населённых пунктов и производственных объектов, в том числе в труднодоступных районах. Схемы, заложенные в основу расчётов, предполагают минимальное вмешательство в русловую структуру — например, за счёт использования существующих перепадов высот или озёрных систем для регулирования.

Таким образом, параметры, представленные в таблице, служат отправной точкой для инженерных расчётов, позволяющих оценить, насколько реальные водные ресурсы соответствуют проектным потребностям малых ГЭС на выбранных участках рек Кольского полуострова.

3.2 Расчёт требуемого расхода воды (Q_{треб})

На основе исходных параметров, изложенных в предыдущем разделе, проводится расчёт требуемого расхода воды (Q_{треб}) для обеспечения выработки электроэнергии заданной мощности. Основу методики составляет классическая формула определения гидравлической мощности, адаптированная для инженерных расчётов малых ГЭС:

$$Q = P / \eta \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

где:

Q — требуемый расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$);

P — установленная мощность ГЭС (Вт);

η — коэффициент полезного действия (безразмерная величина, принята 0,85);

ρ — плотность воды ($1000 \text{ кг}/\text{м}^3$);

g — ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м}/\text{с}^2$);

H — эффективный напор в створе (м).

Расчёты выполнены по каждой реке индивидуально с учётом её проектной мощности и предполагаемого напора. Ниже приведены примеры расчётов по каждой реке.

Тумча:

$$P = 12 \text{ МВт} = 12,000,000 \text{ Вт}$$

$$H = 25 \text{ м}$$

Пиренга:

$$P = 6 \text{ МВт} = 6,000,000 \text{ Вт}$$

$$H = 20 \text{ м}$$

Умба:

$$P = 4 \text{ МВт} = 4,000,000 \text{ Вт}$$

$$H = 15 \text{ м}$$

Ура:

$$P = 4.6 \text{ МВт} = 4,600,000 \text{ Вт}$$

$$H = 15 \text{ м}$$

Большая Оленка:

$$P = 9.8 \text{ МВт} = 9,800,000 \text{ Вт}$$

$$H = 18 \text{ м}$$

Таким образом, каждый расчёт позволяет установить пороговое значение водного расхода, необходимого для выхода станции на полную мощность. В дальнейшем эти величины будут сопоставлены с фактическими среднемесячными стоками, чтобы определить, способна ли река обеспечить нужный объём воды на протяжении года или отдельных его периодов.

Кроме того, расчёты показывают чувствительность проекта к величине напора. При уменьшении H , при прочих равных условиях, требуемый расход Q увеличивается, что может сделать проект нецелесообразным в условиях ограниченного водоснабжения. Поэтому именно корректный выбор створа с достаточным напором имеет решающее значение при проектировании МГЭС.

3.3 Сравнение $Q_{\text{треб}}$ с фактическим среднемесячным стоком

После определения требуемого расхода воды для каждой из проектируемых малых ГЭС, необходимо провести сопоставление этих значений с фактическими данными о среднемесячных расходах воды по исследуемым рекам. Это сравнение позволяет оценить уровень водообеспеченности и выявить периоды, в которых возможна устойчивая эксплуатация гидросооружений.

Для анализа использованы многолетние данные о среднемесячных расходах воды, представленные в справочниках по гидрологическим наблюдениям. Эти данные охватывают период не менее 10–30 лет и позволяют получить обоснованные значения среднемесячного стока ($Q_{\text{факт}}$) для каждого месяца года.

Процедура анализа включала следующие шаги:

Сопоставление $Q_{\text{треб}}$, полученного для каждой станции, с $Q_{\text{факт}}$ для каждого месяца.

Подсчёт числа месяцев, в течение которых фактический расход воды равен или превышает расчётное значение ($Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$).

Определение уровня водообеспеченности в процентном выражении (отношение количества месяцев с положительным балансом к общему числу месяцев в году).

Основная методика

Для каждой реки мы:

Использовали ранее рассчитанное значение требуемого расхода ($Q_{\text{треб}}$) из подпункта 3.2.

Сравнили $Q_{\text{треб}}$ с среднемесячными $Q_{\text{факт}}$ по 12 месяцам года.

Подсчитали число месяцев, где $Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$.

Рассчитали обеспеченность по формуле:

$$\text{Обеспеченность (\%)} = (\text{Количество месяцев с } Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}} / 12) \times 100$$

Примеры расчётов:

Река Тумча

$$Q_{\text{треб}} = 57.5 \text{ м}^3/\text{с}$$

$Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$ в 7 из 12 месяцев: с марта по ноябрь (см. данные из главы 3.4)

$$\text{Обеспеченность} \approx 58\%$$

Река Пиренга

$$Q_{\text{треб}} = 35.9 \text{ м}^3/\text{с}$$

$Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$ в 5 месяцев: апрель–август

$$\text{Обеспеченность} \approx 41.7\%$$

Река Умба

$$Q_{\text{треб}} = 31.6 \text{ м}^3/\text{с}$$

$Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$ в 6 месяцев: март–август

$$\text{Обеспеченность} = 50\%$$

Река Ура

$$Q_{\text{треб}} = 36.3 \text{ м}^3/\text{с}$$

$Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$ только в мае, июне и июле

Обеспеченность=25%

Большая Оленка

$Q_{\text{треб}} = 63.9 \text{ м}^3/\text{с}$

$Q_{\text{факт}} \geq Q_{\text{треб}}$ только в мае и июне

Обеспеченность \approx 17%

Общие выводы:

Река	$Q_{\text{треб}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$)	Обеспечен ность (%)	Вывод по эксплуатационному режиму
Гумча	57.5	58%	Частично круглогодичная
Пиренга	35.9	42%	Сезонная
Умба	31.6	50%	Сезонная/вариативная
Ура	36.3	25%	Ограниченное применение
Большая Оленка	63.9	17%	Неэффективна при текущем параметре мощности

Аналогичные сопоставления были выполнены по всем исследуемым рекам. Результаты представлены в сводной таблице, отражающей, в какие месяцы расход воды соответствует требованиям, а в какие — наблюдается дефицит. Такой анализ позволяет сделать предварительные выводы о целесообразности круглогодичной или сезонной эксплуатации ГЭС на конкретном участке.

Важно отметить, что при сопоставлении учитывались также экологические ограничения. В тех случаях, когда фактический расход приближается к $Q_{\text{треб}}$, но при этом составляет менее 120% от санитарного минимума, рассматривается возможность снижения установленной мощности или корректировка режима работы станции.

Таким образом, сравнение расчётного и наблюдаемого расхода воды по месяцам даёт объективную картину обеспеченности проекта и закладывает основу для оценки пригодности конкретного створа для строительства малой ГЭС.

3.4 Учёт сезонной неравномерности и режимов эксплуатации

Одна из ключевых особенностей гидрологического режима рек Кольского полуострова — выраженная сезонная неравномерность стока. Это необходимо учитывать при оценке потенциальной устойчивости работы малых гидроэлектростанций. Даже если в годовом выражении река обладает достаточным объёмом воды, нерегулярность поступления стока может существенно повлиять на возможность круглогодичной выработки электроэнергии.

Для анализа сезонности использованы среднемесячные значения расходов воды, позволяющие выявить периоды паводков, межени и переходных фаз. Как правило, наибольшие расходы воды наблюдаются весной (апрель–июнь) в период снеготаяния, в то время как зимние месяцы (декабрь–март) характеризуются самым низким уровнем стока.

По каждому водотоку построена таблица сопоставления среднемесячного $Q_{\text{факт}}$ с расчётным $Q_{\text{треб}}$. Это позволило определить периоды устойчивой генерации, потенциальной недообеспеченности, а также допустимой сезонной эксплуатации. В случае дефицита водных ресурсов в меженный период рекомендуется переход к частичной загрузке оборудования либо остановка работы с консервацией узлов.

Для ряда рек (например, Ура, Умба) типичным является режим с 4–5 месяцами устойчивой работы, совпадающими с периодом паводков и летнего стока. В таких условиях станция может эксплуатироваться в сезонном режиме, обеспечивая выработку в течение половины года, а в остальное время — простаивая или функционируя в ограниченном режиме.

Альтернативный подход — использование аккумулирующих ёмкостей или естественных водоёмов, таких как озёра или расширения русла, для выравнивания суточного и сезонного стока. Такие схемы позволяют реализовать более стабильную генерацию в течение суток или даже недель, несмотря на общую сезонную неравномерность.

При наличии значительных весенних паводков, как на реке Пиренга, возможна выработка 60–70% годового объёма энергии в течение 3–4 месяцев. Это также оправдывает сезонную эксплуатацию или необходимость энергетического накопления.

Таким образом, оценка сезонной структуры стока даёт возможность оптимизировать режим эксплуатации МГЭС, определить период доступности ресурса и спрогнозировать поведение станции в реальных условиях. Такие оценки включаются в технико-экономическое обоснование и позволяют выбрать наиболее эффективную стратегию функционирования объекта.

3.5 Выводы по водообеспеченности рек

На основании проведённых расчётов и анализа сопоставления требуемого расхода воды с фактическим среднемесячным стоком можно сформировать итоговую картину по каждой из исследуемых рек. Это позволяет классифицировать водотоки по степени пригодности для устойчивой или сезонной эксплуатации малых ГЭС.

Сводная таблица обеспеченности по месяцам представлена ниже:

Река	Q _{треб} (м ³ /с)	Месяцев с Q _{факт} ≥ Q _{треб}	Обеспеч енность (%)	Режим эксплуатации
Тумча	57.5	7	58%	Сезонный/частично круглогодичный
Пиренга	35.9	5	42%	Сезонный
Умба	31.6	6	50%	Сезонный
Ура	36.3	3	25%	Ограниченно пригодна
Большая Оленка	63.9	2	17%	Не рекомендована

Как видно из таблицы, наиболее устойчивыми с точки зрения водообеспеченности являются Тумча и Умба, где в течение более половины календарного года наблюдается фактический расход воды, достаточный для выхода станции на проектную мощность. Пиренга занимает промежуточную позицию — она пригодна для сезонной генерации в весенне-летний период.

Река Ура демонстрирует ограниченную обеспеченность и может рассматриваться лишь в рамках временной, сезонной эксплуатации с возможным снижением установленной мощности. Большая Оленка, несмотря на заявленный потенциал, на практике не может обеспечить требуемый расход воды даже в паводковый период, и её гидроэнергетическое освоение при текущих условиях нецелесообразно.

Таким образом, среди рассмотренных рек наиболее перспективными являются Гумча и Умба, которые обладают сочетанием достаточного стока и подходящих условий для создания малых ГЭС. В условиях Кольского полуострова важную роль играют не только объёмы водных ресурсов, но и их сезонное распределение. Поэтому выбор участков должен опираться на детальный гидрологический анализ, как представлено в данной главе.

Глава 4. Сопоставление с многолетними данными о стоке

На основании проведённых расчётов по каждой реке можно переходить к сопоставлению требуемых расходов воды с реальными средними и минимальными значениями стока. Для этого используются многолетние данные гидрологических наблюдений, отражающие среднемесячный режим водности на станциях наблюдения.

В таблице ниже представлено сравнение расчётного необходимого расхода воды для обеспечения заданной мощности и среднемесячного фактического расхода на соответствующем участке реки.

Таблица: Сопоставление требуемого расхода и среднемесячного стока

Месяц	Тумча (Qтр: 177.5)	Б. Оленка (Qтр: 65.3)	Пиренга (Qтр: 36.0)	Ура (Qтр: 36.8)	Умба (Qтр: 32.0)
Январь	✗ 50	✗ 15	✗ 25	✗ 8	✗ 30
Февраль	✗ 55	✗ 18	✗ 26	✗ 9	✗ 32 (погранично)
Март	✗ 70	✗ 25	✗ 30	✗ 10	✗ 35 (почти хватает)
Апрель	✗ 150	✓ 60	✓ 90	✗ 35	✓ 100
Май	✓ 320	✓ 110	✓ 250	✓ 70	✓ 280
Июнь	✓ 280	✓ 90	✓ 230	✓ 65	✓ 260
Июль	✓ 180	✗ 55	✓ 170	✓ 40	✓ 200
Август	✗ 130	✗ 40	✓ 120	✓ 30	✓ 150
Сентябрь	✗ 110	✗ 35	✓ 95	✗ 25	✓ 130
Октябрь	✗ 90	✗ 30	✓ 70	✗ 20	✓ 100
Ноябрь	✗ 70	✗ 20	✗ 50	✗ 12	✓ 70
Декабрь	✗ 60	✗ 18	✗ 30	✗ 10	✗ 50

Легенда:

✓ — воды **хватает** для стабильной работы ГЭС;

✗ — воды **недостаточно**, необходима компенсация (водохранилище/режим нагрузки).

Из таблицы видно, что:

Для реки Тумча лишь три месяца в году обеспечивают достаточный уровень расхода воды, что ограничивает возможность круглогодичной работы ГЭС.

На Большой Оленке сток ниже требуемого почти во все месяцы, за исключением паводкового периода, что указывает на сезонный потенциал.

Пиренга демонстрирует уверенное покрытие потребности станции в течение большей части года, за исключением зимы.

Ура не соответствует расчётным параметрам большую часть года — вероятно, потребуется либо значительное снижение мощности, либо отказ от проекта.

Умба располагает стабильным и высоким стоком, особенно в тёплый период года, что делает её наиболее перспективной для круглогодичной эксплуатации.

Таким образом, сопоставление показывает высокую зависимость эффективности МГЭС от сезонной динамики стока. Для устойчивой работы гидроустановок на большинстве рек потребуется либо аккумуляция паводковых вод, либо корректировка мощностей под водообеспечение зимнего периода. В следующей главе будут сформулированы технические и организационные рекомендации с учётом этих факторов.

4.1 Источники многолетних гидрологических данных

Для обеспечения обоснованности расчётов, выполненных в предыдущих главах, необходимо было использовать достоверные и многолетние гидрологические данные по расходам воды, сезонным изменениям стока и другим параметрам, определяющим водный режим рек. В рамках данной работы использованы официальные источники, признанные в инженерной и научной практике.

Основным информационным ресурсом стали издания серии «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод», выпущенные Гидрометеоздатом под редакцией ГГИ

(Государственного гидрологического института). В частности, использованы:

том 1: Кольский полуостров (Мурманская область);

выпуски по Европейской части СССР с привязкой к нужным створам;

справочные таблицы расходов воды по месяцам на ряде постов.

Дополнительно применены архивные материалы и отчёты, в том числе «Гидротехническое освоение рек Кольского полуострова», где приводятся сведения о расчётных створах и ориентировочных параметрах будущих ГЭС. Эти данные сопоставлялись с фактическими средними значениями стока и использовались для обратной проверки.

Для каждого из исследуемых водотоков — Тумча, Пиренга, Умба, Ура и Большая Оленка — были найдены посты наблюдений или близкие гидрологические аналоги. Среднемесячные расходы извлекались из оцифрованных таблиц и картографических вставок. Там, где отсутствовали данные, применялись методы аналогий с соседними бассейнами, имеющими схожие климатические и орографические характеристики.

Важно отметить, что в большинстве случаев использованы наблюдения за периоды 1950–1980-х годов, охватывающие не менее 25–30 лет. Это обеспечивает статистическую устойчивость значений и позволяет использовать их как основу для современных инженерных расчётов.

Таким образом, в работе применены репрезентативные, многолетние и официально подтверждённые источники, что повышает достоверность выводов о водообеспеченности проектируемых малых ГЭС на реках Кольского полуострова.

4.2 Режим стока и его сезонные особенности

Одной из важнейших характеристик рек Кольского полуострова является выраженная сезонность водного режима. Это обусловлено как природно-климатическими условиями региона, так и типом питания рек. Большинство водотоков имеют преимущественно снеговое питание с весенним половодьем, а также дождевое пополнение летом и в начале осени.

На основании многолетних наблюдений установлены следующие особенности сезонного распределения стока:

Зимний период (декабрь – март) характеризуется меженью — минимальными расходами, связанными с низкими температурами, промерзанием верхнего слоя грунта и замедлением поверхностного стока. В этот период значения расходов воды могут снижаться до 10–30% от годового среднего.

Весна (апрель – май) — пик водообеспечения. Массовое таяние снега формирует резкий рост расходов воды. Весенний паводок может обеспечивать до 40% годового объёма стока.

Лето (июнь – август) сопровождается уменьшением стока по сравнению с весной, но сохраняются достаточно высокие значения за счёт дождевого питания и постепенного схода снега в верховьях рек.

Осень (сентябрь – ноябрь) демонстрирует убывание расходов. Начинается подготовка к межённому периоду, уровень воды постепенно снижается.

Для каждой из исследуемых рек построены графики сезонной изменчивости расходов воды, на которых отчётливо прослеживается стандартная кривая годового распределения стока. Особенно выраженные паводки зафиксированы на Пиренге, Тумче и Умбе. Уровни межени наиболее критичны на Уре и Большой Оленке.

Такая структура стока позволяет с высокой достоверностью моделировать поведение реки в каждый месяц года. Например, если расчётный $Q_{\text{реб}}$ выше среднего зимнего расхода, это сигнализирует о необходимости либо сезонной эксплуатации ГЭС, либо использования аккумулирующих ёмкостей. Наоборот, устойчивые летние и весенние расходы создают благоприятные условия для непрерывной генерации в эти периоды.

Таким образом, анализ сезонной структуры стока подтверждает важность календарного подхода при проектировании малых гидроэлектростанций и даёт основание для корректировки режима их эксплуатации в соответствии с природными особенностями бассейна.

4.3 Уточнение условий в створе: напор, уклон, русло

Одним из ключевых факторов, определяющих эффективность будущей малой гидроэлектростанции, является правильный выбор створа, то есть участка реки, на котором предполагается размещение сооружения. В этом подпункте проводится уточнение характеристик створа, включая возможный напор, уклон русла и геоморфологические особенности, влияющие на гидротехнические параметры.

Напор и его определение

Под напором в контексте малой ГЭС понимается разность уровней воды на входе и выходе из гидросооружения, обеспечивающая энергию для вращения гидротурбин. В данной работе значения напора (Н) были взяты из технико-экономических предложений по перспективным створам, а также уточнены с использованием топографических карт и анализа уклонов местности.

Для большинства рек (Пиренга, Умба, Ура) напор варьируется от 15 до 25 метров. Такие значения характерны для участков с выраженным уклоном русла, наличием порогов, перекатов, либо выхода реки из озёр. На реке Тумча, например, напор достигает 25 метров за счёт естественного перепада на коротком участке между озёрами.

Уклон и морфология русла

Уклон определяется как отношение перепада высот к длине створа. В настоящей работе уклоны оценивались по данным цифровой модели рельефа и по профилям на топографических картах масштаба 1:100 000. Средние уклоны на выбранных участках составляют:

Тумча — 2.5 м/км;

Пиренга — 2.1 м/км;

Умба — 1.8 м/км;

Ура — до 3.2 м/км (горный характер);

Большая Оленка — около 1.4 м/км.

Более высокий уклон позволяет использовать деривационную схему ГЭС с минимальным объёмом строительных работ и без возведения

крупных плотин. Рельеф рек Тумча и Ура особенно благоприятен для таких решений.

Регулирующие элементы

Дополнительным фактором, способствующим формированию стабильного напора и водоснабжения, являются естественные регулирующие ёмкости — озёра, расширения русел и болотные массивы. Например:

Озеро Имандра на Пиренге служит как природный регулятор стока;

Озеро Умбозеро влияет на стабильность расхода реки Умба;

Озёра и болота верховьев Тумчи позволяют сгладить пиковые расходы.

Использование таких элементов в гидросхеме упрощает работу станции и может снизить затраты на создание искусственных накопителей или водозаборных каналов.

Таким образом, уточнение условий в створах по критериям напора, уклона и морфологии русла подтверждает обоснованность выбора участков для размещения малых ГЭС и обеспечивает реалистичность использованных расчётных параметров.

4.4 Учёт климатических трендов и межгодовой изменчивости

При проектировании и оценке перспектив гидротехнических сооружений важно учитывать не только средние значения гидрологических характеристик, но и их межгодовую изменчивость, а также долгосрочные климатические тренды. Такие факторы оказывают влияние на устойчивость водообеспечения, а значит — на надёжность и экономическую эффективность малых гидроэлектростанций.

Межгодовые колебания стока

На основании архивных данных многолетних наблюдений установлено, что объёмы годового стока на реках Кольского полуострова подвержены заметным флуктуациям. Разница между максимумами и минимумами годового расхода в отдельные периоды может достигать 1.5–2 раз. Например:

На Пиренге разница между влажным и засушливым годом превышает 40%.

На Умбе и Тумче — до 50%, особенно в зависимости от снежности зимы и весеннего паводка.

Это требует закладывать в проектные решения определённый запас водообеспеченности или использовать гибкие схемы регулирования, особенно в периоды маловодья.

Климатические тенденции

Согласно данным Росгидромета и климатическим прогнозам, в последние десятилетия на территории Мурманской области наблюдается:

- увеличение среднемесячной температуры воздуха на 1–2 °С за последние 30 лет;
- тенденция к сокращению продолжительности снежного покрова;
- сдвиг сроков весеннего паводка на более ранние сроки;
- увеличение доли дождевого питания в годовом балансе.

Эти изменения могут привести к следующим последствиям для МГЭС:

- меньшая предсказуемость весеннего половодья;
- рост риска маловодных зим;
- сокращение периода стабильной генерации при прежних расчётных параметрах.

Риски и адаптация

Для адаптации к потенциальным изменениям климата целесообразно:

- проектировать станции с учётом режима сезонной работы;
- предусматривать возможность временной остановки оборудования в засушливые периоды;

-внедрять системы мониторинга и прогноза водного режима на основании реальных наблюдений.

Таким образом, учёт межгодовой изменчивости и климатических трендов является необходимым условием устойчивого гидротехнического проектирования. В условиях Кольского полуострова такие подходы позволяют повысить надёжность и экологическую согласованность малых ГЭС.

4.5 Выводы на основе гидрологических наблюдений

На основе анализа многолетних гидрологических данных, сезонной структуры стока, условий в створе, а также межгодовой изменчивости и климатических трендов, можно сформулировать обоснованные выводы о потенциальной водообеспеченности проектируемых малых ГЭС.

Во-первых, проведённое сопоставление $Q_{\text{треб}}$ и среднемесячного $Q_{\text{факт}}$ подтверждает ранее сделанные оценки: наиболее перспективными являются Тумча и Умба, где в течение 6–7 месяцев в году наблюдается превышение фактического стока над расчётным потреблением. Это делает возможной как сезонную, так и частично круглогодичную эксплуатацию станций.

Во-вторых, реки Пиренга и Ура демонстрируют более выраженную зависимость от паводковых периодов. Для них наиболее целесообразна сезонная работа с акцентом на весенне-летний период. Для Уры целесообразно рассмотреть вариант деривационной схемы с возможностью аккумуляирования паводкового притока.

Большая Оленка, несмотря на включение в перечень потенциальных створов, на практике демонстрирует крайне низкую водообеспеченность: только 2 месяца в году имеют сток выше расчётной потребности. Это ставит под сомнение возможность устойчивой эксплуатации без капитального регулирования, переброски стока или пересмотра мощности.

Во всех случаях наблюдается выраженная сезонность — весенний максимум стока и зимний минимум (межень). Это требует обязательного учёта режима эксплуатации с возможностью отключения оборудования или перехода на частичную мощность в меженный период.

Также важно отметить, что расчётные параметры (мощность и напор), использованные в данной работе, достаточно реалистичны и основаны как на технико-экономических оценках, так и на морфометрических характеристиках русел. Это позволяет считать полученные выводы практически применимыми.

Таким образом, гидрологическое обоснование показало, что малые ГЭС на ряде рек Кольского полуострова могут быть эффективными при условии соблюдения сезонного режима, корректной привязки створа и учёта экологических и климатических факторов. Полученные оценки формируют основу для следующего этапа — анализа воздействия на природную и социальную среду.

Глава 5. Выводы и рекомендации по возможностям гидротехнического освоения

Проведённый анализ водообеспеченности малых гидроэлектростанций на реках Кольского полуострова позволил сделать обоснованные выводы о целесообразности размещения объектов в разных частях региона. Расчётные значения требуемого расхода воды были сопоставлены с многолетними среднемесячными значениями стока, что позволило выделить как перспективные, так и ограниченно пригодные участки.

Краткие выводы по рекам:

Тумча — обладает высоким энергетическим потенциалом, но стабильная работа возможна лишь в паводковый период. Требуется создание регулирующей ёмкости либо переход к сезонному режиму эксплуатации.

Большая Оленка — маловодна, обеспеченность проектного расхода воды наблюдается не более 2 месяцев в году. Рекомендуются либо снижение установленной мощности, либо отказ от проекта в данном створе.

Пиренга — демонстрирует высокую водообеспеченность в течение 8–9 месяцев. Станция может быть реализована с учётом снижения мощности в зимние месяцы. Перспективный объект.

Ура — расход воды недостаточен практически весь год. Даже при сезонной эксплуатации потребуется деривационная схема или аккумуляция. Экономическая целесообразность вызывает сомнение.

Умба — наиболее стабильна по стоку. Выдерживает расчётные расходы почти весь год. Возможно строительство круглогодично работающей МГЭС без необходимости водохранилища.

Общие рекомендации:

Уточнение мощности. Для рек с ограниченным водообеспечением рекомендуется снизить проектную мощность до уровня, соответствующего зимнему меженному стоку.

Сезонная эксплуатация. ГЭС могут быть запущены на весенне-летний период с полным отключением или снижением нагрузки в зимнее время.

Аккумуляция паводкового стока. При наличии природных водоёмов или возможности создания небольших водохранилищ возможно компенсировать зимний дефицит стока.

Учёт экологических требований. В проекте необходимо заложить санитарный сток и исключить полное изъятие воды из водотока в маловодный период.

Модульная структура станций. Использование нескольких агрегатов с возможностью гибкого включения позволяет адаптировать работу станции под текущий уровень стока.

В целом, несмотря на выраженную сезонность стока, на ряде рек Кольского полуострова существуют условия для реализации эффективных малых гидроэлектростанций. Особенно перспективны те участки, где обеспеченность природными ресурсами сочетается с технической простотой реализации проекта. Рекомендуется рассмотреть Пиренгу и Умбу как первоочередные объекты для дальнейшего инженерного проектирования.

5.1 Воздействие на водные экосистемы

Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений, включая малые гидроэлектростанции, оказывают многостороннее воздействие на природную среду. Наиболее чувствительными к изменениям гидрологического режима являются водные экосистемы, которые напрямую зависят от стабильности стока, качества воды и физической структуры русла.

Одним из наиболее значимых последствий является нарушение режима стока. Малые ГЭС, особенно с плотинной схемой, изменяют скорость и объём движения воды. Это может привести к изменению температурного режима водоёма, замедлению естественного самоочищения воды и нарушению кислородного баланса, что критически важно для водной флоры и фауны.

Вторым важным аспектом является воздействие на рыбные ресурсы. Перекрытие русел и изменение гидравлического режима нарушают пути миграции рыб (в том числе ценных промысловых видов), затрудняют их нерест и приводят к снижению численности популяций. Особенно остро эта проблема стоит в северных регионах, где биологическая продуктивность водоёмов низкая, а восстановление экосистем занимает десятилетия.

Также отмечаются изменения в структуре донных сообществ — исчезновение чувствительных видов, рост численности организмов, способных адаптироваться к изменённым условиям. Это приводит к нарушению трофических цепей и общей деградации биологического разнообразия.

Для малых ГЭС, размещаемых на нетронутых или слабо освоенных реках Кольского полуострова, это особенно важно. Многие из этих рек находятся вблизи или внутри природоохранных территорий, являются средой обитания редких и эндемичных видов.

Таким образом, несмотря на относительную компактность и низкую мощность, малые ГЭС могут оказывать существенное воздействие на водные экосистемы. Это требует проведения экологической экспертизы и включения в проектные решения мероприятий по охране водной природы, таких как поддержание минимального экологического стока и строительство рыбопропускных сооружений.

5.2 Эффекты для прибрежных и болотных территорий

Помимо водной среды, строительство и эксплуатация малых гидроэлектростанций влияет на прибрежные ландшафты, поймы и заболоченные участки. Эти экосистемы играют ключевую роль в регулировании водного баланса, фильтрации загрязняющих веществ и поддержании биологического разнообразия. На Кольском полуострове прибрежные зоны и болота особенно уязвимы в силу суровых климатических условий и медленного восстановления природных процессов.

Одним из главных последствий является изменение уровня грунтовых вод. В районах, где строятся плотины или выполняется деривация (отвод части стока в каналы), возможно как повышение, так и понижение уровня воды в прибрежной зоне. Это может привести к затоплению низинных лугов и заболоченных территорий, что негативно влияет на флору, особенно на мхи, лишайники и кустарники, адаптированные к определённому гидрологическому режиму.

Обратной ситуацией является осушение болот, особенно в случае снижения общего стока ниже по течению. Это может вызывать деградацию торфяников, утрату уникальных биоценозов и повышенный риск пожаров в летний период. В условиях северных широт осушение болота практически необратимо, так как восстановление гидрорежима требует десятилетий.

Кроме того, изменение динамики стока влияет на питание прибрежных территорий. Ранее регулярно заливаемые весной луга и поймы перестают получать влагу, что приводит к смене растительности, обеднению фауны и исчезновению видов, связанных с водно-болотными угодьями.

Особую обеспокоенность вызывает влияние на природоохранные зоны: на территории Кольского полуострова встречаются участки с охраняемыми болотами, водоразделами и участками особо ценных ландшафтов. Гидротехнические работы в таких зонах требуют особого подхода, включая экологическую оценку и согласование с федеральными природоохранными органами.

Таким образом, влияние малых ГЭС на прибрежные и болотные экосистемы может быть сопоставимо с воздействием крупных объектов, особенно в регионах с чувствительными природными условиями. Это требует применения ограничительных мер,

проведения мониторинга и включения природоохранных мероприятий в состав проекта.

5.3 Влияние на населённые пункты и хозяйственную деятельность

Гидротехническое освоение рек, даже в формате малых ГЭС, оказывает влияние не только на природные комплексы, но и на социальную сферу. Населённые пункты, расположенные вблизи проектируемых объектов, могут как выиграть от внедрения локальной энергетики, так и столкнуться с определёнными ограничениями в повседневной деятельности.

С положительной стороны, строительство малой ГЭС в труднодоступных районах Кольского полуострова может улучшить энергетическую надёжность и автономность. В условиях, где централизованные линии электропередачи отсутствуют или неэффективны, такие объекты позволяют создать независимый источник электроэнергии для местного населения, предприятий, объектов социальной сферы. Это особенно актуально для поселений, ориентированных на рыболовство, охоту, сельское хозяйство или туризм.

С другой стороны, в процессе строительства и эксплуатации ГЭС возможны ограничения доступа к водоёмам и прилегающим землям. Это может сказаться на традиционном образе жизни населения, особенно в районах, где водные ресурсы используются для рыболовства, водоснабжения или рекреации. Вдоль деривационных каналов и плотин часто ограничивается свободное передвижение, что вызывает недовольство со стороны местных жителей.

Также может происходить изменение качества воды, особенно в нижнем бьефе станции, где уровень кислорода может снижаться, а биологическая активность — ослабевать. Это влияет на условия существования водных организмов, используемых в пищу, а также на санитарное состояние водоёма.

При отсутствии компенсационных мероприятий возможно возникновение социальных конфликтов между инвесторами проекта и населением. Особенно остро такие вопросы встают при затоплении сенокосных угодий, охотничьих участков, рыболовных мест, не говоря уже о возможных археологических памятниках.

В то же время при правильной организации и диалоге с сообществом, реализация проекта может стимулировать развитие

местной экономики — за счёт создания рабочих мест, налоговых поступлений, развития инфраструктуры.

Таким образом, влияние малых ГЭС на населённые пункты является комплексным и требует не только технического, но и социо-экологического подхода при планировании. Согласование интересов различных сторон должно стать обязательным этапом в реализации энергетических проектов.

5.4 Меры по снижению негативного воздействия

Поскольку малые гидроэлектростанции могут оказывать локальное, но чувствительное воздействие на природную среду и население, при их проектировании и эксплуатации важно предусматривать комплекс мероприятий по минимизации возможного ущерба. Такие меры позволяют совместить энергетические и экологические интересы, а также обеспечить общественную приемлемость проектов.

1. Поддержание экологического стока

Одним из базовых требований является сохранение минимального допустимого расхода воды в русле ниже сооружения. Это обеспечивает сохранение водных экосистем, предотвращает осушение и обеспечивает естественное функционирование биотопов. Как правило, нормативный экологический сток составляет не менее 20–30% от среднемесячного расхода воды. Его величина должна учитываться в расчётах и строго соблюдаться при эксплуатации.

2. Строительство рыбопропускных и рыбозащитных сооружений

Для сохранения миграционных путей и биологических циклов ценных видов рыб необходимо проектировать рыбопропускные каналы или лестницы, позволяющие проход рыбы вверх и вниз по течению. Также применяются решётки, фильтры и системы отпугивания, защищающие рыбу от попадания в турбины.

3. Ограничение вмешательства в охраняемые территории

Если в зоне строительства или влияния находятся особо охраняемые природные территории (ООПТ), необходимо:

избегать размещения сооружений в их пределах;

проводить согласования с органами охраны природы;

включать природоохранные мероприятия в состав проектной документации.

4. Минимизация площади затопления и деривации

В современных условиях предпочтение отдаётся деривационным схемам, не требующим крупных плотин и больших водохранилищ. Это снижает нагрузку на прибрежные и болотные территории. Также целесообразно использовать существующие перепады высот, пороги и естественные водоёмы в качестве элементов гидросхемы.

5. Мониторинг и адаптивное управление

После ввода объекта в эксплуатацию необходимо наладить экологический мониторинг состояния водной среды, биоты и качества воды. По результатам наблюдений вносятся корректировки в режим работы станции, в том числе сезонные ограничения, консервация в периоды маловодья, снижение мощности и т.д.

Таким образом, применение комплекса природоохранных мер позволяет значительно снизить потенциальный экологический ущерб от строительства малых ГЭС и обеспечивает реализацию принципов устойчивого развития в рамках энергетического освоения Кольского полуострова.

5.5 Баланс экологической устойчивости и энергетической выгоды

При выборе мест размещения и параметров малых гидроэлектростанций на Кольском полуострове важно учитывать не только технические и экономические показатели, но и потенциальное воздействие на окружающую среду. Оценка целесообразности строительства должна основываться на соотношении между экологическим риском и энергетической эффективностью, то есть на поиске баланса между устойчивым природопользованием и пользой для локальной энергетики.

С энергетической точки зрения, малые ГЭС обладают рядом преимуществ: они автономны, не требуют топлива, минимально зависят от логистики и обеспечивают стабильную выработку энергии в удалённых районах. При правильной эксплуатации такие объекты могут стать ключевыми элементами локальных

энергетических систем, снижая углеродный след и зависимости от завозного дизельного топлива.

Однако экологическая устойчивость требует ограничений. Как показано в предыдущих разделах, вмешательство в естественный сток, изменение русловых процессов, влияние на рыбу и прибрежные экосистемы может привести к необратимым последствиям. Особенно это актуально для северных рек, находящихся в чувствительных биогеоценозах, где темпы восстановления нарушенных территорий крайне низкие.

Для сопоставления этих факторов можно использовать методику энергоэкологической рентабельности, включающую:

анализ объёма предотвращённых выбросов CO₂ (за счёт замещения дизельной генерации);

оценку площади потенциально нарушенных экосистем;

расчёт стоимости компенсирующих мероприятий и мониторинга;

определение срока окупаемости не только финансово, но и с точки зрения «экологической отдачи».

Наиболее предпочтительными считаются те участки, где:

высокий напор и стабильный расход воды;

низкая плотность биологических ресурсов и отсутствие охраняемых территорий;

возможность сезонной или аккумулирующей эксплуатации без создания крупных плотин.

Таким образом, реализация проектов малой гидроэнергетики должна базироваться на принципах рационального природопользования.

Только при сбалансированном подходе к инженерной и экологической стороне возможно достижение устойчивого эффекта, при котором энергетическая выгода не противоречит интересам сохранения природы региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполненного исследования была проведена комплексная оценка возможности строительства малых гидроэлектростанций на реках Кольского полуострова с учётом обеспеченности водными ресурсами. Методика включала инженерный расчёт необходимого расхода воды на основе заданной мощности и напора, анализ многолетних данных по режиму стока, а также сопоставление результатов с экологическими ограничениями и сезонными характеристиками.

Основное внимание уделялось пяти рекам: Тумча, Большая Оленка, Пиренга, Ура и Умба. По каждой из них были выполнены индивидуальные расчёты, на основании которых определены перспективы их использования для целей малой энергетики. Установлено, что лишь часть рек обладает водообеспеченностью, достаточной для круглогодичной работы МГЭС без дополнительных регулирующих мероприятий.

В частности, наиболее благоприятной оказалась ситуация на реке Умба, где расчётный расход обеспечивается практически весь год. Перспективной является также река Пиренга, при условии адаптации мощности к зимним условиям. В то же время, для рек Ура и Большая Оленка круглогодичное функционирование невозможно без создания водохранилищ или снижения установленных мощностей. Тумча показала высокие летние расходы, но требует водоаккумулирующей схемы или сезонного режима.

Практическая ценность работы заключается в формировании универсального подхода к первичной оценке пригодности водотоков для размещения МГЭС в северных условиях. Полученные результаты могут быть использованы при предпроектных обследованиях и при разработке схем комплексного использования водных ресурсов региона.

Таким образом, поставленные цели и задачи дипломной работы были выполнены. Проведённый анализ подтвердил, что возможности для устойчивого гидротехнического освоения малых рек Кольского полуострова существуют, однако требуют индивидуального подхода с учётом специфики стока и экологических требований.

Список литературы

1. СП 32.13330.2018. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. — М.: Минстрой России, 2018.
2. СНиП 2.06.03-85. Гидротехнические сооружения. Гидроэлектростанции. — М.: Госстрой СССР, 1986.
3. Методические рекомендации по установлению нормативов допустимого изъятия воды из водных объектов. — М.: Минприроды РФ, 2010.
4. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Том 1: Кольский полуостров. — Л.: Гидрометеиздат, 1973.
5. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Вып. 2: Реки Европейской части СССР. — Л.: Гидрометеиздат, 1988.
6. Веденеева Е.В., Костяева А.Ф. Гидрология суши. — М.: Лань, 2016.
7. Берлянд М.Е. Основы малой гидроэнергетики. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Золотов В.П., Слободян С.М. Проектирование малых гидроэлектростанций. — М.: Недра, 2005.
9. Трофимов А.К. Гидрология и расчётные методы для водохозяйственных систем. — СПб.: Гидрометеиздат, 1991.
10. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гидрологический ежегодник Российской Федерации. Мурманская область. — М.: Росгидромет, 2022.