МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инженерной гидрологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему **Оценка гидроэкономических последствий изменения притока в озера Арктики**

Исполнитель Капралов Арсений Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Девятов Владимир Сергеевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)
к.т.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)
Гайдукова Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«1» мая 2026 г.

Санкт–Петербург
2026

Оглавление

Введение ... 2
1 Физико-географическое описание района и объектов исследования ... 6
1.1 Рельеф и геологическое строение ... 6
1.2 Климат ... 8
1.3 Гидрология ... 11
1.4 Объекты исследования ... 13
2 Исходные данные ... 20
2.1 Гидрологические данные ... 21
2.2 Метеорологические данные ... 23
3 Методы обработки и анализа гидрологической и метеорологической информации ... 26
3.1 Методы первичной обработки гидрологических данных ... 26
3.2 Методы графического анализа ... 27
3.3 Методы статистической обработки данных ... 27
3.4 Методы оценки гидроэкономических последствий ... 29
4 Результаты гидрологического анализа ... 30
4.1 Гидрологические сезоны ... 30
4.2 Совмещенные гидрографы притока и уровня озера ... 31
4.3 Коэффициенты внутригодового перераспределения стока ... 32
4.4 Многолетние тренды ... 42
5 Гидроэкономические последствия изменения притока в озера Арктики ... 47
5.1 Экономические риски при изменении притока в озера ... 47
5.2 Сценарий маловодья ... 48
5.3 Сценарий многоводья ... 49
5.4 Сценарий «теплый год» ... 51
Выводы ... 55
Список использованной литературы ... 58
Приложение А ... 61

Введение

Арктика играет ключевую роль в глобальной климатической системе. Этот регион оказался самым уязвимым к изменениям климата: потепление здесь идет в 2–3 раза быстрее среднемирового [1], а в отдельных районах (например, в Баренцевом море) — в 5–7 раз быстрее [2]. В российской Арктике температура растет на 0,8–1,4 °C за десятилетие.

Последствия этих изменений двойственны. С одной стороны, появляются новые возможности: сокращение льдов делает Северный морской путь более доступным, открывается доступ к полезным ископаемым (по оценкам USGS, в Арктике около 30% газа и 13% нефти), развиваются туризм и рыболовство. С другой стороны, возникают серьезные риски: тает вечная мерзлота, разрушается инфраструктура, усиливается береговая эрозия, меняются условия жизни коренных народов.

Особое место среди арктических экосистем занимают озера. В Арктической зоне России насчитывается более 2,5 млн водоемов общей площадью около 160 тыс. км². Многие из них остаются неизученными, однако даже для относительно изученных озер, таких как Имандра и Куэтсъярви, остается неясным главное: как изменение притока (вызванное климатическими сдвигами) влияет на экономику — водоснабжение, рыболовство, туризм, дороги, причалы и другие объекты на берегу.

Существует ряд работ, посвященных исследованию арктических озер. В рамках данной работы изучены три направления исследований.

Первое направление — разработка методов дистанционной оценки характеристик неизученных озер. Предложена методика, основанная на математической модели FLakeEco, спутниковых данных и метеорологическом реанализе. Она позволяет для малых и средних озер (0,1–100 км²) оценивать теплоперенос, ледовый режим, кислородный режим и другие параметры без

проведения полевых измерений. Это особенно важно для труднодоступных районов Арктики [3].

Второе направление — термогидродинамика озер зоны многолетней мерзлоты. С использованием спутниковых снимков, данных реанализа ERA5 и сценариев выбросов парниковых газов SSP выполнены ретроспективные (1940–2015) и прогностические (2016–2100) расчеты термических и ледовых характеристик озер для 15 регионов зоны мерзлоты России. Результаты подтверждают ожидаемое потепление водной массы и сокращение ледового покрова [4].

Третье направление — связь водного фактора с здоровьем населения Арктики. Исследования показывают, что качество воды, ее термический режим и состояние источников водоснабжения влияют на уровень сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний — лидеров в структуре смертности в регионе. При этом даже при соблюдении формальных нормативов ПДК могут возникать «массовые заболевания неясной этиологии», что указывает на необходимость комплексного изучения водных объектов [5].

Указанные исследования посвящены либо методам дистанционной оценки, либо термодинамике озер, либо медико-экологическим аспектам. Практически отсутствуют работы, которые на реальных гидрологических и метеорологических данных для конкретных озер (Имандра, Куэтсъярви) оценивают гидроэкономические последствия изменения притока — то есть то, как колебания притока влияют на уровень озера, риски затопления прибрежных территорий, эрозию, водоснабжение и другие экономически значимые параметры.

Цель работы — оценить гидроэкономические последствия изменения притока в озера Арктики (на примере озер Имандра и Куэтсъярви) на основе анализа гидрологических и метеорологических данных за 2008–2023 гг.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Собрать и систематизировать гидрологические данные (уровни воды в озерах, расходы рек-притоков и вытекающих рек) и метеорологические данные (температура воздуха, осадки, влажность) за период 2008–2023 гг.

2. Выделить гидрологические сезоны (зимняя межень, весеннее половодье, летне-осенняя межень) и построить совмещенные гидрографы притока, вытекающей реки и уровня озера.

3. Рассчитать коэффициенты внутригодового перераспределения стока (доля весеннего стока, доля зимнего стока, коэффициент неравномерности) и проанализировать их изменение по годам.

4. Оценить многолетние тренды основных гидрологических характеристик (среднегодовой приток, максимальный весенний расход, минимальный зимний расход, доля весеннего стока) с помощью линейного тренда в Excel.

5. Проанализировать аномальные годы (самый влажный, самый сухой, самые теплые) и оценить их влияние на озеро.

6. Разработать сценарии гидроэкономических последствий: маловодье (на примере аномально сухого года), многоводье (на примере аномально влажного года) и «теплый год» (на основе метеоданных).

7. Составить матрицу гидроэкономических рисков и предложить рекомендации по адаптации.

Объект исследования — озера Арктики: Имандра (Мурманская область) и Куэтсъярви (Республика Карелия / Мурманская область).

Предмет исследования — изменение притока в эти озера и его гидроэкономические последствия (риски для водоснабжения, подтоплений, эрозии, рыболовства, туризма, инфраструктуры).

Для решения поставленных задач использованы следующие методы:

1. методы гидрологического анализа (построение гидрографов, расчет сезонных долей стока);

2. методы статистической обработки (линейный тренд в Excel);

3. сравнительный анализ (сопоставление аномальных лет, сравнение двух озер);

4. качественное моделирование гидроэкономических сценариев.

1 Физико-географическое описание района и объектов исследования

Кольский полуостров расположен на крайнем северо-западе Европейской территории СССР. С трех сторон — севера, востока и юга — полуостров омывается Баренцевым и Белым морями, образующими его естественно-географические границы; на западе граница рассматриваемой территории совпадает с государственной границей СССР с Норвегией и Финляндией, на юге она проходит между государственной границей и Белым морем, по южному водоразделу бассейна р. Нивы. Общая площадь территории составляет 130 000 км², большая часть ее расположена за Полярным кругом.

В административном отношении рассматриваемая территория принадлежит к Мурманской области. Гидрометеорологическое обслуживание осуществляется Мурманским управлением гидрометеорологической службы.

1.1 Рельеф и геологическое строение

Территория Кольского полуострова занимает восточную часть Балтийского щита, сложенного породами кристаллического фундамента и рыхлыми четвертичными отложениями.

Распространенные здесь дочетвертичные кристаллические породы относятся к образованиям архейского, протерозойского и частично палеозойского возраста. Представлены они метаморфическими и эффузивными комплексами, прорезанными на больших площадях и изогнутыми, главным образом, гранитами. Наибольшую площадь среди дочетвертичных пород имеют архейские гранитно-гнейсовые породы, слагающие ядра антиклиналей. Глубокие синклинальные зоны выполнены более молодыми породами.

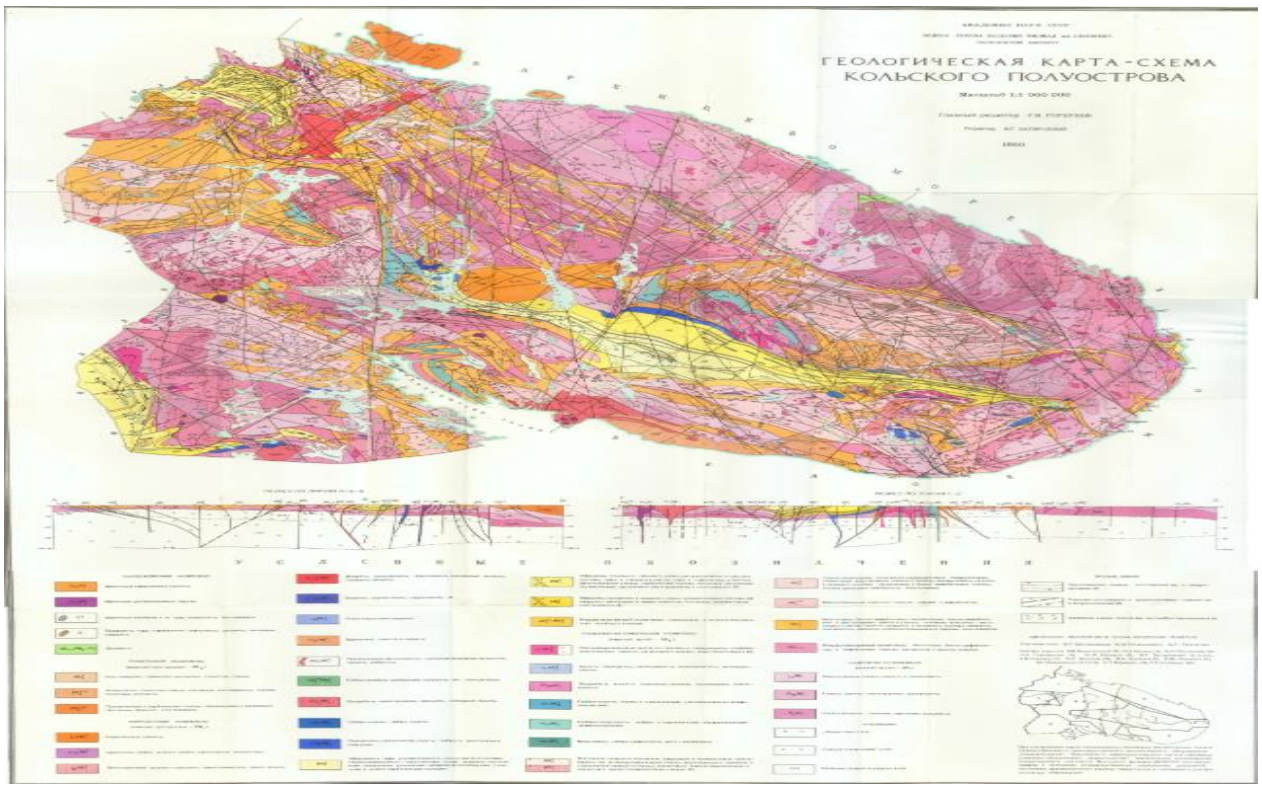


Рисунок 1.1 Геологическая карта Кольского полуострова

Остатки хребтов на Кольском полуострове, приподнятые в виде горстов, свидетельствуют о тектонических процессах, которые сопровождались образованием сложной системы трещин — разломов, разрывов, обрывов, преимущественно параллельных и перпендикулярных общему простиранию пород.

Четвертичные отложения представлены комплексом ледниковых образований верхнечетвертичного возраста: основной мореной, песчаными водно-ледниковыми отложениями (зандры, озы, флювиогляциальные дельты), торфяниками, крупнообломочными элювиальными и делювиальными образованиями горных районов, песчано-глинистыми морскими и озерными отложениями. Наибольшее распространение имеют валунные пески и супеси основной морены.

Распространение того или иного комплекса указанных выше пород обусловливает развитие в них определенных форм рельефа. К архейским гранитам и гнейсам приурочены денудационные равнины, пересеченность

которых связана с перемещением отдельных глыб по сбросовым трещинам. Мелкая пересеченность рельефа обусловливается ледниково-аккумулятивными формами. На протерозойских осадочно-эффузивных породах, если они собраны в складки, развивается в основном горно-складчатый рельеф, существенным элементом которого являются гряды, сложенные коренными породами и вытянутые в определенном направлении. На палеозойских осадочных породах, залегающих согласно, образуются, как правило, структуры палео- и протерозойских форм рельефа (восточная часть Кольского полуострова). Горные массивы приурочены к относительно молодым массивам. С ними связаны самые высокие массивы полуострова: Ловозерские, Хибинские, Чунские, Волчьи, Сальные тундры.

В целом значительная расчлененность Кольского полуострова тесно связана с геологической историей Балтийского кристаллического щита. В формировании современной поверхности района.

1.2 Климат

Климат Кольского полуострова находится под смягчающим влиянием окружающих его морей и особенно запасов тепла, приносимых северной ветвью теплого течения Гольфстрим. Благодаря этому Баренцево море у г. Мурманска не замерзает, а температура воздуха зимой (январь, февраль) на побережье близка к соответствующим значениям температуры воздуха в районах, расположенных на 10° южнее (например, ст. Павловск вблизи г. Ленинграда). Термический режим южного побережья полуострова несколько суровее, так как Белое море зимой покрывается льдом. При удалении в глубь полуострова влияние морей довольно быстро исчезает.

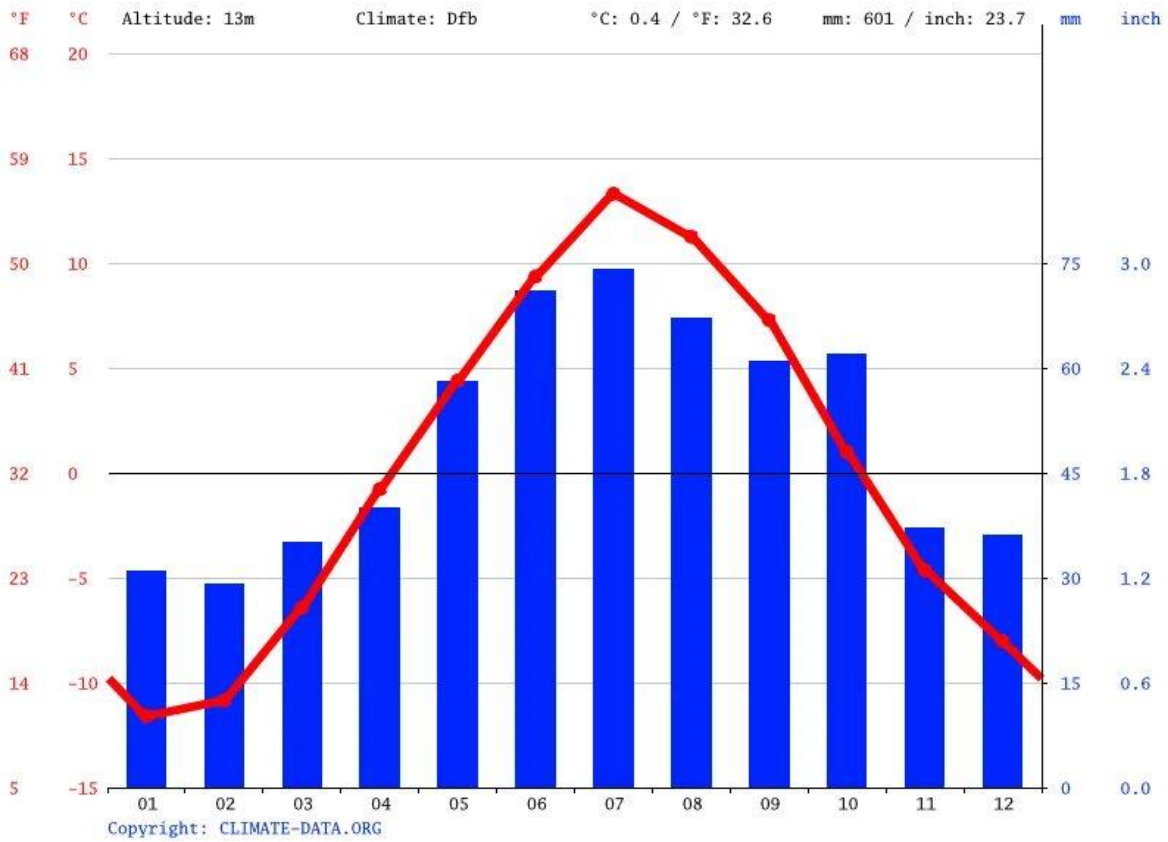


Рисунок 1.2 График хода температур воздуха

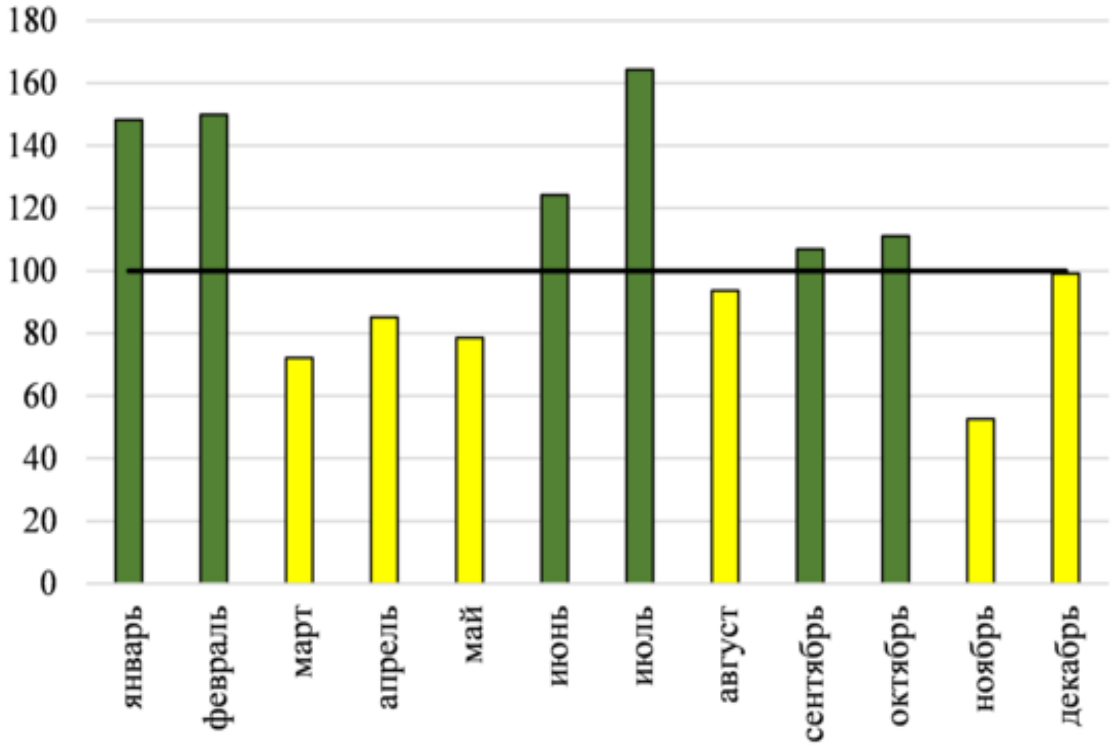


Рисунок 1.3 График годовой суммы осадков

Поскольку климатические условия в значительной степени связаны с рельефом и в особенности с высотой местности над уровнем моря, в горных частях района наблюдается их зональность: падение температуры воздуха, увеличение осадков, силы ветра и продолжительности залегания снежного покрова с возрастанием высоты местности. Различие в ходе метеорологических элементов зависит также от местных климатообразующих факторов: экспозиции склонов, ориентации долин, свойств почвы и пр. В восточной части полуострова вследствие более сглаженных форм рельефа климат отличается меньшей территориальной изменчивостью.

Преобладание поступления в рассматриваемый район воздушных масс атлантического и арктического происхождения и интенсивная циклоническая деятельность над Норвежским и Баренцевым морями, особенно сильная в холодное время года, вместе с другими климатообразующими факторами обусловливают на Кольском полуострове относительно теплую зиму и прохладное лето.

Характерной особенностью погоды является ее неустойчивость и резкая изменчивость, вызываемая частой сменой воздушных масс, перемещением циклонов и фронтов.

На побережье зима продолжается в течение 6 месяцев (ноябрь — апрель), а в центральной части — до 7 месяцев (октябрь — апрель). Средняя месячная температура в этот период изменяется от –2 до –14°, постоянно держится снежный покров значительной мощности, бывают метели и сильные ветры (преобладающее направление ветров юго-западное, со средними месячными скоростями от 7 до 11 м/сек). Осадков за холодный период выпадает от 100 до 200 мм, при этом наибольшее их количество наблюдается во внутренней, возвышенной части полуострова.

Май и октябрь — переходные месяцы. Теплый сезон продолжается 4 месяца; средняя месячная температура наиболее теплого месяца — июля — не превышает 13–14°, при этом довольно часто наблюдаются возвратные холода и заморозки.

Осадки довольно значительны, распределяются по площади сравнительно равномерно, но в горных массивах быстро возрастают с высотой. Ветры северо-восточного направления; скорости их от 4 до 8 м/сек. [6]

1.3 Гидрология

Мурманская область — один из самых озерно-речных краев России. Здесь более 110 тыс. озер площадью более 10 га и 18 209 рек длиной более 100 м (в бассейне каждой крупной реки — множество озер, например в бассейне р. Умбы. Многие реки и озера Мурманской области имеют промысловое значение и включены в рыбохозяйственный фонд, в который входят 5,6 тыс. км речных русел, 181,1 тыс. га водохранилищ, 917,9 тыс. га озер. В реках и озерах ловятся 34 вида рыб, среди которых семга, кумжа, озерная и речная форель, озерный голец, ряпушка, сиг, хариус, озерная корюшка, налим, щука, окунь, горбуша, ерш, сибирская минога, пелядь, лосось, камбала и др.

Важное значение имеет любительское и спортивное рыболовство, разрешенное на всех реках и озерах Кольского п-ова, за исключением тех, которые расположены в государственных заповедниках или служат источником питьевого водоснабжения.

В Мурманской области за период 1990-х — начало 2000-х на реках Кольского п-ова (Аникеевка, Белоусиха, Западная Лица, Малая Западная Лица, Долгая, Ваенга, Вичаны, Воронья, Зарубиха, Зубовка, Климковка, Кола, Кулонга, Лавна, Мучка, Оленка, Пак, Печа, Печенга, Сайда, Средняя, Титовка, Типановка, Большая Тюва, Малая Тюва, Шовна, Улита, Ура, Эйна и др.) отработана система организации и обслуживания любительского и спортивного рыболовства.

Реки

Основным источником питания рек Кольского п-ова служат талые воды (до 60% годового стока). Весенние половодья длятся 2—2,5 месяца (май-июнь),

после чего реки сильно мелеют. Уровень воды в них, а следовательно, и их проходимость напрямую зависят от летних дождей.

Густота речной сети значительна. Общая протяженность русел рек превышает 50 тыс. км. Реки относятся к бассейну Белого и Баренцева морей. Некоторые из них имеют длину более 200 км: Поной (425,7 км), Варзуга (262 км), Тулома (236,5 км), Стрельна (213 км), Иоканьга (203 км). Вместе с притоками они занимают около 70% общей площади речных бассейнов Мурманской области. Почти все реки имеют меридиональное направление течения, в широтном течет только одна крупная река — Поной. Участки крутого падения русел (перекаты, пороги, водопады) чередуются с обширными плесами. Коэффициент падения рек Мурманской области высок — более 1 м на каждый км русла.

Многие реки — Воронья, Нива, Умба и др. — берут начало из крупных озер. Вода в реках, как правило, зеленовато-голубая (за исключением рек с болотным питанием, где она светлая, зеленовато-желтая, иногда темно-бурая — в зависимости от количества растворенного в воде гумуса) и прозрачная: летом и зимой количество мути составляет 20—25 г частиц на м3. Во время паводков реки несут большое количество песка, ила и опавших листьев (осенью). Болота и озера служат и аккумуляторами осадков, и регуляторами стока. Ледостав на реках длится до 7 месяцев, устойчивый ледовый покров — 150—210 дней в году. Вскрытие рек обычно происходит в мае.

Велики гидроэнергетические ресурсы Мурманской области. На реках Нива, Тулома, Ковда, Воронья построены гидроэлектростанции и созданы водохранилища. В отличие от южных, равнинных рек в северных реках в результате охлаждения воды на порогах и в водопадах в холодное время года часто образуется донный лед. Многие реки Мурманской области относительно мелководны, с бурными паводками, во время ледохода лед часто перепахивает отдельные участки русла. Русла нередко сложены скальными породами в сочетании с валунами и галькой, иногда песком. Выходы твердых кристаллических пород или вымытые из ледниковых отложений крупные камни

образуют пороги и водопады. Речной грунт состоит в основном из валунов, гравийно-песчаного материала и скалистых обломков.

Реки центральной части — горные, с большим количеством камней, быстрым течением и разнообразными порогами, малопригодны для водных путешествий. Они быстро выходят из берегов и так же быстро возвращаются к обычному уровню, часто уходят в рыхлые наносы и появляются на поверхности в новом месте, вода — очень прозрачная. Зимой реки на одних участках не замерзают, на других — промерзают до дна, образуя наледи, вода течет по их поверхности, разливаясь в ширину и подмерзая. Иногда образуется большое количество донного льда, вызывающего зимний паводок, во время которого вода может подняться больше чем на 1 м. В сильные морозы при зимнем паводке устанавливается нормальный ледяной покров, донный лед тает, вода возвращается к нормальному уровню, а поверхностный лед провисает, местами оседая, ломаясь и создавая торосы [7].

1.4 Объекты исследования

Имандра

Озеро Имандра расположено на крайнем Северо-западе России, в Мурманской области. На берегах Имандры расположено два крупных города области (г. Апатиты на восточном берегу и г. Мончегорск на северо-западном). Озеро находится в меридиональной впадине, которая служит естественной границей между Кольским полуостровом и материковой частью (Геология СССР, 1958). В депрессии помимо исследуемого озера расположены следующие объекты (с севера на юг): Кольский залив Баренцева моря, долина реки Кола, река Нива, вытекающая из озера Имандра.

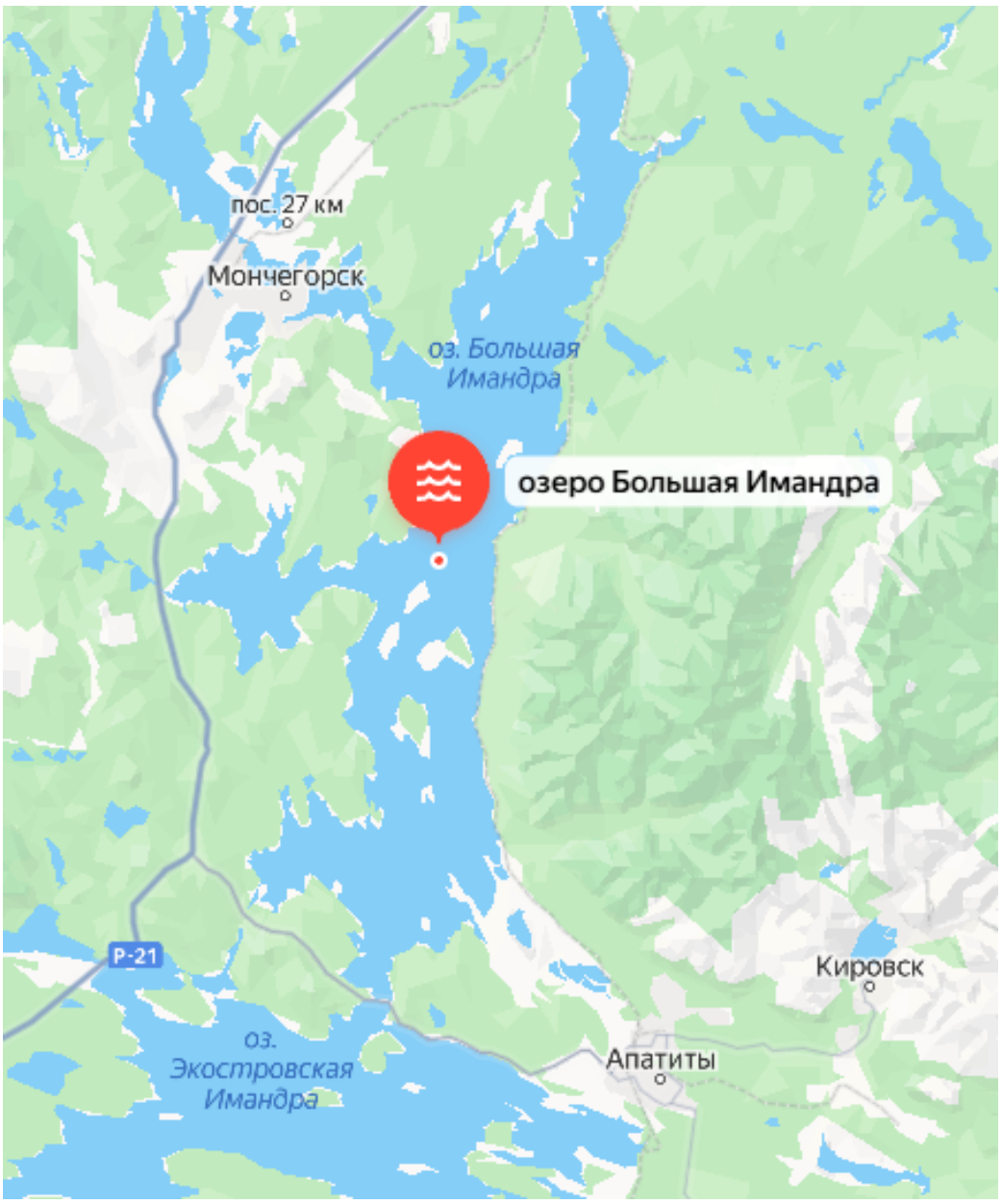


Рисунок 1.4 Карта-схема озера Имандра

Озеро Имандра, расположенное за полярным кругом, является не только крупнейшим внутренним водоемом Мурманской области, но и всей Европейской Арктики. Длина озера составляет 109 км, средняя ширина – 3,19 км, площадь с островами – 880,4 км^2, площадь зеркала – 812 км^2, абсолютная высота горизонта вод – 127,83 м.

Форма озера чрезвычайно сложная, благодаря разнообразию геологического строения и рельефа побережья. Озеро разделяется на три в значительной мере обособленных плеса: Большая, Йокостровская и Бабинская

Имандра. Между собой они соединяются узкими проливами – салмами. Большую и Йокостровскую Имандры соединяет Йокостровский (Экостровский) пролив, Йокостровскую и Бабинскую Имандры проливы Широкая и Узкая Салма у острова Роватостров. Большая Имандра вытянута в меридиональном направлении лежит в глубокой депрессии и огибает дугой с запада Хибинский массив. Йокостровская и Бабинская Имандры имеют широтное простирание. Наиболее крупные острова расположены в Бабинской Имандре (Ермостров (25,93 км^2), Роватостров (9,50 км^2), самым крупным островом Большой Имандры является остров Сяв (4,41 км^2).

Гидрографическая сеть представлена 1379 водотоками (большинство малые ручьи) и 2495 озерами. К крупным рекам, впадающим в озеро Имандра относятся реки: Пиренга (впадает в Йокостровскую Имандру с запада), Монче (впадает в большую Имандру с северо-запада), Пасма (впадает в Бабинскую Имандру с юга). Вытекает из озера река Нива (Бабинская Имандра), впадающая в Кандалакшский залив. Таким образом, озерная система отноится к бассейну Белого моря и Северного Ледовитого океана. Основной водный сток направлен из Большой Имандры в Бабинскую (и далее в Ниву), через Йокосторскую Имандру. Немалаважную роль в объеме речного стока в озерную систему играет река Пиренга, так объем ее стока сотавляет 1,71 км^3. Все реки и ручьи водосборного бассейна можно разделить на горные и озерно-болотные. Горные реки берут свое начало в Хибинском массиве и впадают по большей части в Большую Имандру. Они имеют большое падение небольшую глубину и зачастую порожисты. За счет этого реки данного типа зимой промерзают до дна и характеризуются бурным весенним вскрытием. Реки, относящиеся к озерно-болотному типу, берут свое начало в более отдаленных массивах (Мончетундра, Чунатундра) и протекая по низменностям образуют сложную цепь озер и протоков, в которых может осаждаться значительная часть рыхлого материала, сносимого с горных массивов.

Озеро относится к типу умеренно-холодных водоемов. Продолжительность открытого периода составляет 160 дней. Переход

температуры через 10 °С отмечается в третьей декаде июля. Максимальные температуры воды (19,5 °С) характерны для июля. Ледостав в губах начинается в начале ноября, и к середине ноября открытые части озера также покрываются льдом.

В настоящее время озерная система озера Имандра зарегулирована плотиной Нива ГЭС-1 (с 1952 года). Колебания уровня озера не превышают 1,5 м. Низкий уровень озера отмечается в апреле – мае, наиболее высокий в июле. Как для зарегулированного водоема для озера характерно значительное влияние ветра на уровень озера.

Направление поверхностных течений обусловлено естественным уклоном уровня озера к стоку (с севера на юг). Меридионально дующие ветры могут в значительной мере ускорять или замедлять поверхностные течения. В глубинной части отмечается наличие противотечений.

Для Большой Имандры характерны различия в типах рек, впадающих в озеро по восточному и западному берегу. Реки, впадающие по восточному берегу, имеют горный тип, и характеризуются более низкими температурами, но большим объемов переносимых частиц, именно они формируют аккумулятивные надводные и подводные формы рельефа. Реки западного берега относятся к озерно-болотному типу, и характеризуется более высоким температурами, меньшим объемом переносимого рыхлого материала, но большим объемом переносимого органического материала (так как нередко размывают значительные болотные массивы). Реки этого типа при впадении в Большую Имандру образуют крупные губы. Основное направление течений – с севера на юг, поддерживается господствующим направлением ветра.

Флювиогляциальный рельеф представлен камами, озами и зандровыми полями. Камы высотой до 80 м (средняя высота - 20 м) зачастую образуют камовые поля площадью 1,5 км^2. Озы – вытянутые гряды высотой до 50 м разделяются на два типа: радиальные – ориентированы по движению ледника и маргинальные – перпендикулярно ему. Зандровые равнины распространены к востоку от пояса краевых образований. Поверхность их волнисто-бугристой до

почти плоской, очень полого понижается от гряды к востоку.

Куэтсъярви

Озеро Куэтсъярви расположено в Мурманской области, в крайней северо-западной части Кольского полуострова, в северной части Печенгского района. Представляет собой сравнительно узкий, вытянутый с юга на север водоем. Длина озера около 11 км, средняя ширина порядка 1 км. Наибольшая ширина отмечается в южной части и на севере озера в районе ответвления залива Питкяоунко (Питкялоукко), приблизительно 2 км и 2,5 км соответственно. Залив Питкяоунко простирается к северо-востоку на 4,5 км. Максимальная ширина в зоне ответвления достигает 1,5 км. Быстро сужаясь к вершине, уже в центральной части залив имеет ширину до 1-0,5 км.

В озеро впадает несколько рек различной полноводности, ручьев и прочих водотоков. Наиболее значимым является река Колосйоки. Котловина озера сформировалась в результате тектонических процессов. Водосборная площадь достигает 672 км², а зеркало водоема лежит на высоте 21,4 метра над уровнем моря.

Общая площадь островов на озере составляет 8,3 км². В Куэтсъярви впадают две реки: Колосойки (обеспечивает 30 % притока) и Шуонийоки (дает 50 % притока). Через протоку озеро соединяется с соседним Сальмиярви, откуда берет начало река Паз. За многолетний период среднегодовой уровень Куэтсъярви меняется на 60 см, тогда как у соседних озер эти колебания не превышают 30 см. Изучение временных графиков уровня показало, что на режим озера влияет подпор от водохранилища Борисоглебской ГЭС, построенного в 1963 году на базе озера Сальмиярви [8].

Акваторию Куэтсъярви условно делят на три зоны. Южная часть — это глубокая котловина с отметками дна до 16 метров. Севернее устья Колосойки простирается мелководье глубиной не более 4 метров. Далее, в сторону протоки к Сальмиярви, начинаются относительно глубокие воды [9]. В 84 % случаях из 100 самый высокий уровень фиксируется в конце мая. Самая низкая зимняя

отметка приходится на начало апреля (с 5 по 8 апреля), а самый низкий летне-осенний уровень наблюдается в последней декаде августа. В среднем за год вода колеблется в пределах 100 см. Весенний подъем воды в среднем составляет 104 см, максимально достигая 178 см, а минимально — 51 см. Весной переход температуры воды через отметку 0,2 °C в среднем происходит 15 мая, а осенью — 5 ноября. Самая теплая вода в году отмечается ближе к концу третьей недели июля.

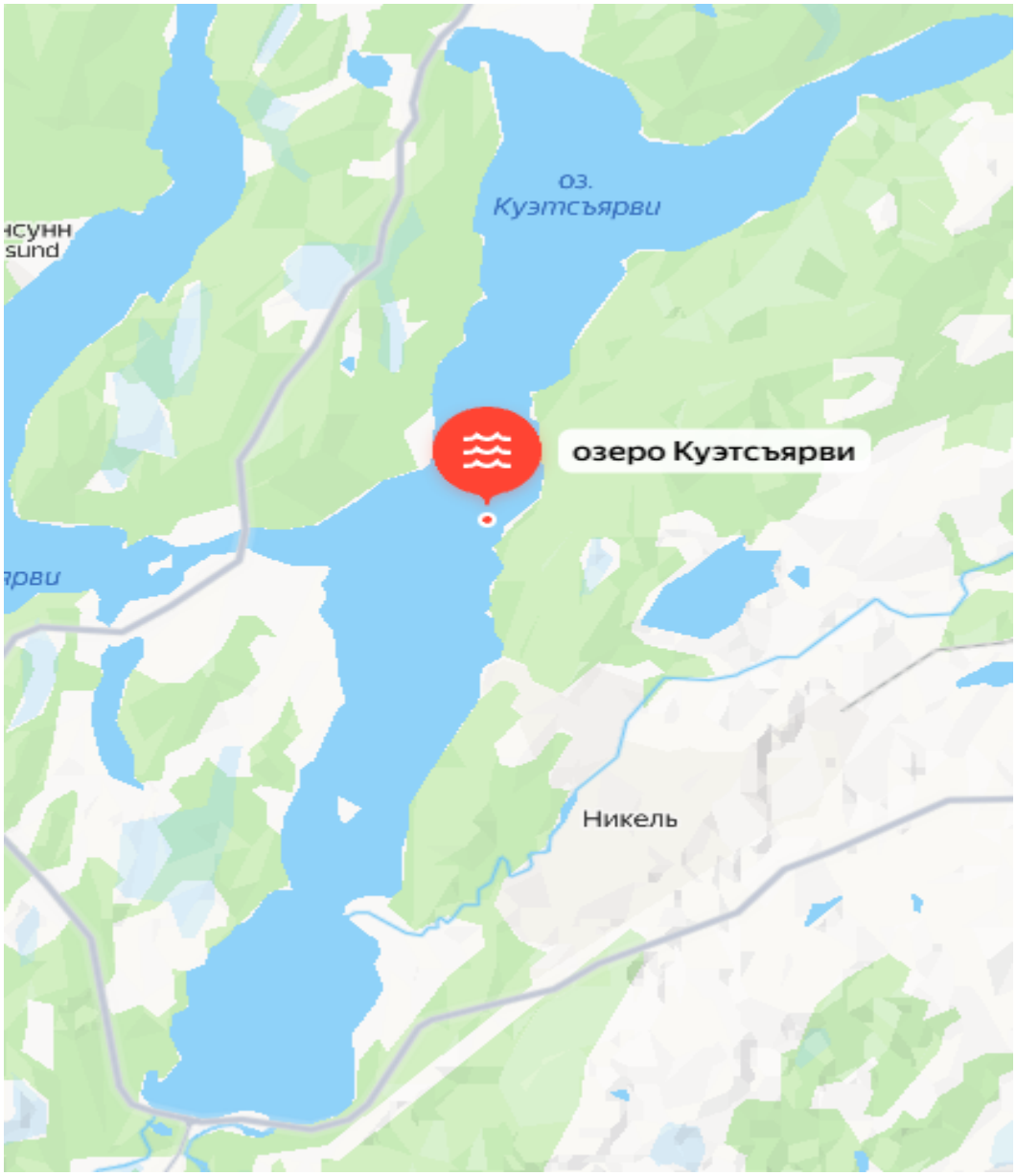


Рисунок 1.5 Карта-схема озера Куэтсъярви

Ледостав на озере неустойчив. Первые ледовые явления начинаются около середины второй декады октября, а полностью ото льда водоем освобождается в начале июня. Лед держится в среднем 206 суток.

Печенгский район, согласно одним нормативным документам [10], относится к климатическому району ПА, а по другим — ко второму району (Мурманское побережье) [11]. Местный климат складывается под воздействием арктических течений и Гольфстрима. Несмотря на положение за Полярным кругом, близость теплого Северо-Атлантического течения создает уникальные климатические условия.

Весной интенсивность циклонов над Баренцевым морем постепенно ослабевает, что ведет к снижению средней скорости ветра. Средняя весенняя температура воздуха падает при движении с запада на восток. Относительная влажность распределяется обратно температурному градиенту. Меньше всего облаков в апреле, а в мае, из-за роста числа северных ветров, облачность увеличивается. Летом близость Баренцева моря и частая повторяемость северных ветров приводят к высокой влажности воздуха. В это время года преобладает значительная облачность, которая немного снижается лишь в июле. При вторжении воздуха с Баренцева моря пасмурная погода может держаться несколько дней подряд — даже при антициклоне. Серьезные осадки возможны во время прохождения южных циклонов.

Осенью циклоны становятся более частыми, из-за чего заметно прибавляется облачность верхнего и среднего ярусов. Хотя абсолютная влажность воздуха падает вместе с температурой, среднее количество выпадающих осадков в начале осени достигает своего годового пика.

2 Исходные данные

В работе использованы гидрологические и метеорологические данные за период 2008–2023 гг. (16 лет). Выбор периода обусловлен наличием непрерывных рядов наблюдений по исследуемым объектам. Карта-схема гидрометеорологической изученности района исследования, а именно используемые в работе речные и озерные гидрологические посты и метеостанции, представлены на рисунках 2.1 и 2.2.



Рис. 2.1 Карта-схема гидрометеорологической изученности озера Имандра



Рис. 2.2 Карта-схема гидрометеорологической изученности озера Куэтсъярви

2.1 Гидрологические данные

Для озера Имандра использованы среднемесячные уровни воды по двум гидрологическим постам: ПГТ-Зашеек и СТ-Хибины. Для озера Куэтсъярви — среднемесячные уровни воды по посту – ПГТ Никель.

Фрагменты исходных данных представлены в таблицах 2.1-2.2.

Таблица 2.1 Среднемесячные уровни на ГП ПГТ-Зашеек

ПГТ-ЗАШЕЕК												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008	159	146	125	95	74	121	165	162	154	150	162	166
2009	159	143	125	107	97	137	154	164	178	182	175	164
2010	149	128	108	80	114	161	161	173	169	171	182	166
2011	149	136	107	79	96	152	155	145	133	127	144	146
2012	130	108	83	63	91	166	179	160	139	150	162	163
2013	155	143	128	100	92	147	156	151	131	102	93	80
…….												
2022	130	125	109	81	83	137	158	157	141	133	133	121
2023	111	100	84	75	101	148	146	156	165	180	168	151

Таблица 2.2 Среднемесячные уровни на ГП СТ-Хибины

СТ-ХИБИНЫ												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008	210	196	175	145	124	172	215	212	205	200	205	217
2009	210	194	175	156	144	187	206	218	229	234	226	216
2010	199	179	158	131	165	213	212	223	220	222	234	218
2011	201	189	158	129	147	203	206	195	184	179	184	198
2012	181	158	133	113	142	217	230	211	190	201	213	214
2013	206	195	179	150	144	198	207	201	181	153	144	130
…….												
2022	183	176	163	134	132	188	209	209	191	186	178	171
2023	163	150	135	124	153	199	195	207	216	231	219	202

Для оценки притока и оттока использованы среднемесячные расходы воды по гидрологическим постам на реках-притоках (впадающих в озера) и реках-оттоках (вытекающих из озер). В случае озера Имандра в работе проанализированы данные по рекам Гольцовка, Малая Белая, Монча, Куреньга. Для озера Куэтсъярви использованы аналогичные данные по впадающим и вытекающим водотокам: Колосйоки.

Фрагменты исходных данных представлены в таблицах 2.3-2.4.

Таблица 2.3 Расходы на притоке, р. Гольцовка

ГОЛЬЦОВКА РАСХОДЫ												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008	0,85	0,54	0,42	0,37	1,94	7,63	5,76	4,25	3,13	2,85	1,98	1,10
2009	0,53	0,39	0,29	0,30	5,53	8,11	4,89	3,43	3,70	2,27	1,16	0,67
2010	0,56	0,44	0,35	0,45	7,08	5,90	3,55	2,70	2,85	3,72	1,78	1,02
2011	0,60	0,35	0,31	0,30	5,44	6,23	2,79	2,03	2,45	5,17	2,36	0,96
2012	0,75	0,46	0,31	0,29	5,85	6,87	6,09	2,79	3,19	3,95	1,76	1,07
2013	0,57	0,42	0,32	0,42	6,24	8,91	3,22	1,54	1,32	1,86	1,38	0,82
…….												
2022	0,57	0,46	0,37	0,38	4,67	10,64	4,52	2,94	3,97	3,45	2,46	1,09
2023	0,60	0,41	0,34	0,32	7,46	5,08	2,38	2,55	3,22	2,82	1,24	0,64

Таблица 2.4 Уровни на притоке, р. Гольцовка

ГОЛЬЦОВКА УРОВНИ												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2008	74	54	53	43	55	79	74	69	63	62	73	81
2009	62	54	48	45	72	81	71	65	66	58	60	72
2010	65	51	40	41	73	73	64	61	61	65	76	65
2011	56	72	41	40	65	73	61	57	59	71	64	59
2012	81	81	40	40	64	75	72	59	61	65	54	71
2013	47	41	42	41	69	80	61	52	50	54	70	72
…..												
2022	49	46	39	39	63	85	68	60	65	63	69	76
2023	53	47	41	38	70	70	57	58	62	60	76	55

2.2 Метеорологические данные

Использованы следующие метеорологические характеристики:

1. температура воздуха (среднемесячная);
2. сумма осадков (за месяц);
3. влажность воздуха (среднемесячная).

Метеорологические данные получены по метеостанциям для озера Имандра – Кандалакша, Апатиты, Мончегорск, для Куэтсъярви – Мурманск, Никель, Неллим, Янискоски

Данные по этим станциям позволяют охарактеризовать климатические условия в районе расположения озер Имандра и Куэтсъярви с достаточной для целей работы полнотой.

Фрагменты исходных данных представлены в таблицах 2.5-2.7

Таблица 2.5 Осадки, температуры, влажность МС-Апатиты

МС Апатиты			
Год	Осадки	Влажность	Температура
2008	-	-	-
2009	28,29	82,33	0,89
2010	16,96	83,94	-0,60
2011	18,59	83,93	0,78
2012	21,92	81,04	-0,60
2013	18,94	80,35	0,78
…….			
2022	42,79	79,89	1,70
2023	36,87	80,20	0,72

Таблица 2.6 Осадки, температуры, влажность МС-Кандалакша

Кандалакша			
Год	Осадки	Влажность	Температура
2008	31,18	81,89	1,16
2009	30,74	79,63	0,65
2010	38,10	78,35	0,32
2011	26,45	80,53	1,93
2012	33,97	81,50	0,78
2013	34,74	81,13	2,42
…...			
2022	41,22	82,43	2,49
2023	45,16	83,89	1,69

Таблица 2.7 Осадки, температуры, влажность МС-Мончегорск

Мончегорск			
Год	Осадки	Влажность	Температура
2008	1,43	30,50	1,16
2009	1,33	30,42	0,65
2010	1,53	30,42	0,32
2011	1,62	30,42	1,93
2012	1,71	30,50	0,78
2013	1,25	30,42	2,42
…...			
2022	3,43	30,42	2,49
2023	2,84	30,42	1,69

Все гидрометеорологические данные получены из баз данных АИС ГМВО, ВНИИГМИ МЦД и rp5.ru и Финских институтов окружающей среды (SYKE) и метеорологии (FMI).

3 Методы обработки и анализа гидрологической и метеорологической информации

В данной главе описаны методы, примененные при обработке исходных гидрологических и метеорологических данных, а также при анализе полученных результатов. Все расчеты выполнены в Microsoft Excel с использованием встроенных статистических функций и инструментов визуализации данных.

Выбор методов определялся целью работы — оценить гидроэкономические последствия изменения притока в озера Арктики — и характером исходных данных (среднемесячные значения за 16 лет).

3.1 Методы первичной обработки гидрологических данных

Исходные гидрологические данные (уровни воды в озерах, расходы воды рек-притоков и рек-оттоков) были получены из открытых архивов Росгидромета. Для каждого гидрологического поста сформированы временные ряды среднемесячных значений за период 2008–2023 гг.

Первичная обработка включала:

1. проверку полноты рядов (выявление пропусков);
2. выявление аномальных значений (выбросов) с помощью визуального анализа;
3. приведение данных к единой системе единиц измерения.

Для озер, в которые впадает несколько рек, суммарный приток рассчитывался как сумма среднемесячных расходов всех притоков, для которых имелись данные [12, 13].

3.2 Методы графического анализа

Для каждого озера построены графики в Microsoft Excel:

4. средние многолетние графики хода уровней воды (усреднение по всем годам);
5. годовые графики хода уровней воды (для каждого года отдельно);
6. совмещенные гидрографы притока, оттока и уровня озера.

Анализ графиков хода уровней воды и гидрографов позволяет выявить сезонную динамику стока, оценить запаздывание реакции уровня озера на изменение притока и определить характерные особенности половодья и межени.

Гидрологические сезоны (зимняя межень, весеннее половодье, летне-осенняя межень) выделялись на основе анализа графиков среднемноголетнего хода уровней воды. Для каждого озера определены календарные границы сезонов, соответствующие характеру внутригодового распределения стока в арктическом регионе. Метод выделения сезонов основан на типизации гидрологических режимов рек и озер, описанной в работах по гидрологии [13, 14].

3.3 Методы статистической обработки данных

Для количественной оценки внутригодовой неравномерности стока рассчитаны следующие коэффициенты [15]:

7. Доля весеннего стока — отношение суммы расходов за весенние месяцы (апрель–июнь) к годовой сумме расходов. Показывает вклад весеннего половодья в годовой объем стока.
8. Доля зимнего стока — отношение суммы расходов за зимние месяцы (ноябрь–март) к годовой сумме расходов. Характеризует долю подземного (грунтового) питания реки в зимнюю межень.
9. Коэффициент внутригодовой неравномерности — отношение максимального среднемесячного расхода к минимальному. Дает общую оценку

контрастности режима: чем выше коэффициент, тем более экстремальным является распределение стока в течение года.

Для выявления направленных изменений гидрологических характеристик во времени использован метод линейного тренда. Для каждой анализируемой переменной (среднегодовой приток, максимальный весенний расход, минимальный зимний расход, доля весеннего стока) построена диаграмма рассеяния (год — значение) и добавлена линия линейной регрессии.

Интерпретация проводилась по двум параметрам:

1. Наклон (коэффициент a) — показывает направление и скорость изменения (если $a > 0$ — рост, $a < 0$ — падение);

2. Коэффициент детерминации R^2 — показывает, какая доля изменчивости переменной объясняется временным трендом. Значения $R^2 > 0,3$ интерпретируются как заметная тенденция, $R^2 > 0,5$ — как сильный статистически значимый тренд.

Метод линейного тренда широко используется в гидрологических исследованиях для оценки климатически обусловленных изменений речного стока [16, 17].

Для выделения аномально теплых лет использованы метеорологические данные (среднегодовая температура воздуха). Рассчитаны среднее значение температуры за весь период и стандартное отклонение. Критерием отбора служило превышение среднегодовой температуры над средним значением более чем на 0,5 стандартного отклонения. Такой подход позволяет объективно выделить годы с аномальными температурными условиями [18].

Аномально влажные и сухие годы выделялись на основе анализа рядов среднегодового притока: год с максимальным притоком признавался аномально влажным, с минимальным — аномально сухим.

3.4 Методы оценки гидроэкономических последствий

Для оценки экономических последствий изменения притока использован сценарный подход. Выделены три сценария:

Сценарий маловодья — на примере реального аномально сухого года (2013). Оценены изменения уровня озера, последствия для водоснабжения, рыболовства, туризма и инфраструктуры.

Сценарий многоводья — на примере реального аномально влажного года (2022). Аналогично оценены последствия подтоплений, эрозии, повреждения инфраструктуры.

Сценарий «теплый год» — на основе метеорологических данных. Проанализирована реакция озера (приток, уровень, сроки половодья) в годы с аномально высокой температурой воздуха.

Сценарный подход широко применяется в гидроэкономических исследованиях, особенно в условиях неопределенности будущих климатических изменений [19]. Качественная оценка последствий (уровни риска: высокий, средний, низкий) выполнена на основе анализа гидрологических данных и экспертного заключения автора.

Для систематизации результатов составлена матрица рисков, в которой по вертикали перечислены сценарии, по горизонтали — категории последствий (водоснабжение, затопления, эрозия, рыболовство, туризм, инфраструктура). Уровень риска в каждой ячейке определен на основе анализа реальных данных и логических взаимосвязей между уровнем озера и состоянием объектов.

4 Результаты гидрологического анализа

4.1 Гидрологические сезоны

Для определения месяцев, которые характеризуют гидрологические сезоны: весенний, летне-осенний и зимний, - использовался графический метод. Для этого по всем рекам-Гольцовка, Монча, Малая Белая, Куреньга строились графики и определялись фазы водного режима. В результате анализа графиков, на которых представлены гидрографы перечисленных рек за 2008-2023 годы (см. рис. 4.1-4.5), можно сделать вывод, что на всех станциях: зимний межень наблюдается примерно в месяцы 1–3 (январь–март), когда расходы воды минимальны, что связано с питанием реки исключительно за счет подземных вод в период ледостава. Весеннее половодье приходится на месяцы 4–6 (апрель–июнь): здесь фиксируется резкий подъем расходов до максимальных значений. Летне-осенний межень охватывает примерно месяцы 7–10 (июль–октябрь), когда после спада половодья расходы постепенно снижаются, но остаются выше зимних; в этот период река питается в основном дождями и грунтовыми водами с возможными кратковременными паводками.

4.2 Совмещенные гидрографы притока и уровня озера



Рисунок 4.1 Годовые гидрографы притока оз. Имандра за 2008–2023 (тонкие линии) и среднемноголетний гидрограф (черная линия)

Наибольший разброс значений наблюдается в мае–июле (период половодья), где расходы варьируют от 23.8 до 180.7 м³/с. Зимние месяцы характеризуются наименьшей изменчивостью (8.89–47.5 м³/с).

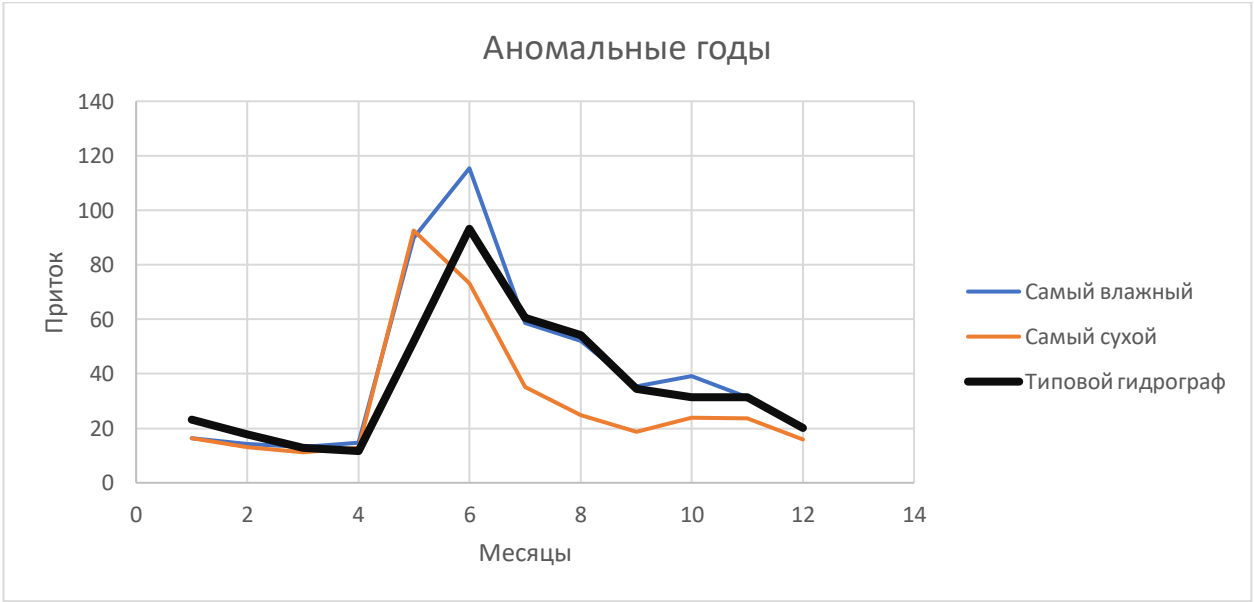


Рисунок 4.2 Аномальные годы

- Влажный год: пик притока июнь - пик уровня июль (время добегания 1 месяц)
- Сухой год: пик притока май - пик уровня июль (время добегания 2 месяца)

Из этого можно сделать вывод, что на рисунке 4.2 представлены гидрографы аномально влажного – 2022 год и аномально сухого – 2013 года в сравнении со среднемноголетними значениями. Установлено, что в многоводный год пик притока наблюдается в июне, а максимальный уровень озера достигается в июле (время добегания 1 месяц). В маловодный год пик притока смещается на май, однако пик уровня также приходится на июль (время добегания 2 месяца). Это означает, что в маловодные годы озеро заполняется медленнее из-за меньшего объема поступающей воды, а в многоводные годы озеро реагирует быстрее. Разница в максимальных расходах между влажным и сухим годом достигает почти в 9 раз (180,7 против 23,8м³/с), что подтверждает высокую межгодовую изменчивость притока.

4.3 Коэффициенты внутригодового перераспределения стока

Внутригодовое распределение стока — одна из ключевых характеристик гидрологического режима водного объекта. Она определяет, как объем воды, поступающей в озеро, распределяется по сезонам и месяцам года.

Характер распределения стока в году определяется закономерностями внутригодового изменения основных климатических характеристик — атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха, а также зависит от местных физико-географических особенностей: геоморфологического строения бассейна, его озерности и заболоченности, гидрогеологических условий

В гидрологической практике **внутригодовое распределение стока** используется при проектировании водохозяйственных объектов, управлении работой водохранилищ, разработке схем комплексного

использования водных ресурсов, а также для оценки изменений гидрологического режима под влиянием климатических факторов.

Основной нормативный документ в этой области — СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». В соответствии с п. 4.1 данного свода правил, «настоящий свод правил содержит основные методы расчета средних годовых, максимальных и минимальных расходов воды, внутригодового распределения стока, объемов и гидрографов стока весеннего половодья и дождевых паводков, уровней воды рек и озер».

Для количественной оценки внутригодового распределения стока используются специальные коэффициенты, которые позволяют:

- **сравнивать** разные годы между собой (не по абсолютным величинам, а по структуре режима)
- **сравнивать** разные водные объекты
- **обнаруживать изменения** режима под влиянием климата (например, растет ли доля весеннего стока)

В научной литературе, в частности в работе Калинина В.Г. и Механошиной Е.В. (2024)[20], именно анализ внутригодового распределения стока используется для выявления климатических изменений: авторы показали, что за период 1978–2021 гг. на реках водосбора Воткинского водохранилища доля весеннего стока уменьшилась в среднем на 7,3%, а доля зимнего стока увеличилась до 22,9%. Аналогичные исследования для бассейна оз. Балхаш показывают, что внутригодовое распределение стока зависит от водности года, причем изменчивость сезонного стока существенно отличается от изменчивости годового.

Таким образом, **коэффициенты внутригодового перераспределения стока** позволяют:

1. **Диагностировать текущий режим** (насколько контрастно распределение воды по сезонам)
2. **Выявлять изменения** (становится ли режим более контрастным со временем)

3. **Обосновывать гидроэкономические риски** (при контрастном режиме выше риски весенних подтоплений и зимнего маловодья).

Таблица 4.1 Исходные данные для оз. Имандра

Год	Месяц	Суммарный приток (м³/с)
2008	Январь	23,2
2008	Февраль	17,6
2008	Март	12,8
2008	Апрель	11,6
2008	Май	51,8
2008	Июнь	93,2
2008	Июль	60,4
2008	Август	54,08
2008	Сентябрь	34,3
2008	Октябрь	31,4
2008	Ноябрь	31,3
2008	Декабрь	20,09

Таблица 4.2 Исходные данные по оз. Куэтсъярви

Куэтсярви		
Год	Месяц	Суммарный приток (м³/с)
2008	Январь	1,40
2008	Февраль	1,21
2008	Март	1,16
2008	Апрель	1,48
2008	Май	6,22
2008	Июнь	5,39
2008	Июль	3,12
2008	Август	2,67
2008	Сентябрь	2,34
2008	Октябрь	3,74
2008	Ноябрь	2,28
2008	Декабрь	1,61
.....		
2013	Июль	1,65

Таблица 4.3 Расчет сумм притока по сезонам и году

Имандра				Куэтсъярви		
Год	Сумма весна	Сумма зима	Сумма год	Сумма весна	Сумма зима	Сумма год
2008	156	136	442	13,1	11,4	32,7
2009	192	111	427	14,1	9,31	32,7
2010	164	125	402	17,8	10,9	39,8
2011	174	156	444	16,7	12,4	37,6
2012	161	153	457	13,2	11,7	35,6
2013	177	97,03	343			
2014	185	105	382			
2015	207	111	438			
2016	162	123	436			
2017	195	120	494			
2018	170	93,2	332			
2019	176	105	406			
2020	236	125	495			
2021	193	130	455			
2022	225	136	508			
2023	173	135	391			

Таблица 4.4 Расчет доли весеннего и зимнего стока

Имандра			Куэтсярви	
Год	K_Spring	K_winter	K_Spring	K_winter
2008	0,35	0,30	0,40	0,35
2009	0,44	0,26	0,43	0,28
2010	0,40	0,31	0,44	0,27
2011	0,39	0,35	0,44	0,33
2012	0,35	0,33	0,37	0,32
2013	0,51	0,28		
2014	0,48	0,27		
2015	0,47	0,25		
2016	0,37	0,28		
2017	0,39	0,24		
2018	0,51	0,28		
2019	0,43	0,26		
2020	0,47	0,25		
2021	0,42	0,28		
2022	0,44	0,26		
2023	0,44	0,34		

Таблица 4.5 Расчет коэффициента неравномерности

Имандра					Куэтсярви			
Год	Max/Min	Расход	Месяц	K_Ratio	Max/Min	Расход	Месяц	K_Ratio
2008	Max	93,2	Июнь	8,01	Max	6,22	Май	5,33
	Min	11,6	Апрель		Min	1,16	Март	
2009	Max	95,2	Июнь	9,47	Max	8,22	Май	6,99
	Min	10,05	Март		Min	1,17	Март	
2010	Max	80,8	Май	8,16	Max	11,4	Май	11,24
	Min	9,89	Март		Min	1,01	Март	
2011	Max	82,1	Май	8,32	Max	8,29	Май	7,08
	Min	9,86	Март		Min	1,17	Март	
2012	Max	87,6	Май	7,77	Max	7,40	Май	6,59
	Min	11,2	Апрель		Min	1,12	Февраль	
2013	Max	88,7	Май	7,62				
	Min	11,6	Март					
2014	Max	98,4	июнь	8,82				
	Min	11,1	Март					
2015	Max	106	Июнь	10,42				
	Min	10,2	Март					
2016	Max	94,2	Май	8,12				
	Min	11,6	Март					
2017	Max	159	Июнь	13,08				
	Min	12,1	Апрель					

Имандра					Куэтсярви			
Год	Max/Min	Расход	Месяц	K_Ratio	Max/Min	Расход	Месяц	K_Ratio
2018	Max	95,06	Май	8,47				
	Min	11,2	Март					
2019	Max	81,6	Май	8,01				
	Min	10,2	Март					
2020	Max	180	Июнь	17,22				
	Min	10,4	Февраль					
2021	Max	91,2	Июнь	10,26				
	Min	8,89	Февраль					
2022	Max	121	Июнь	9,14				
	Min	13,3	Март					
2023	Max	95,3	Май	7,48				
	Min	12,7	Апрель					

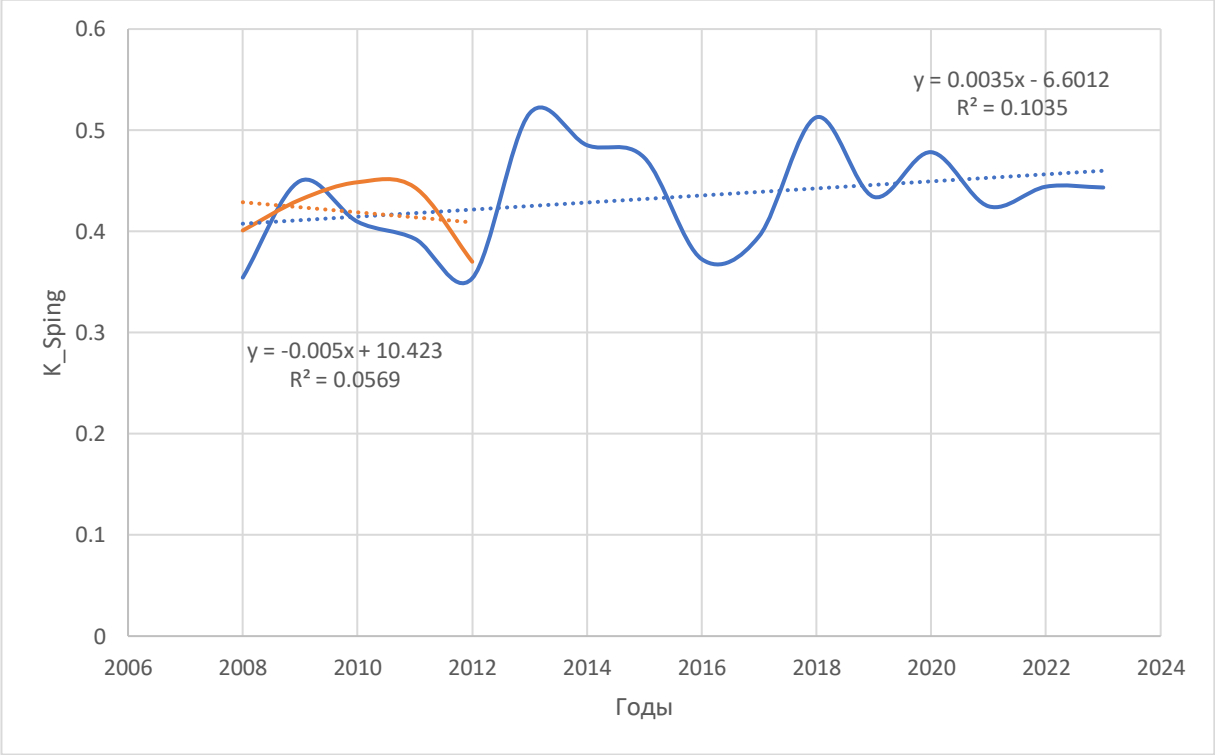


Рисунок 4.3 Многолетняя динамика K_Spring

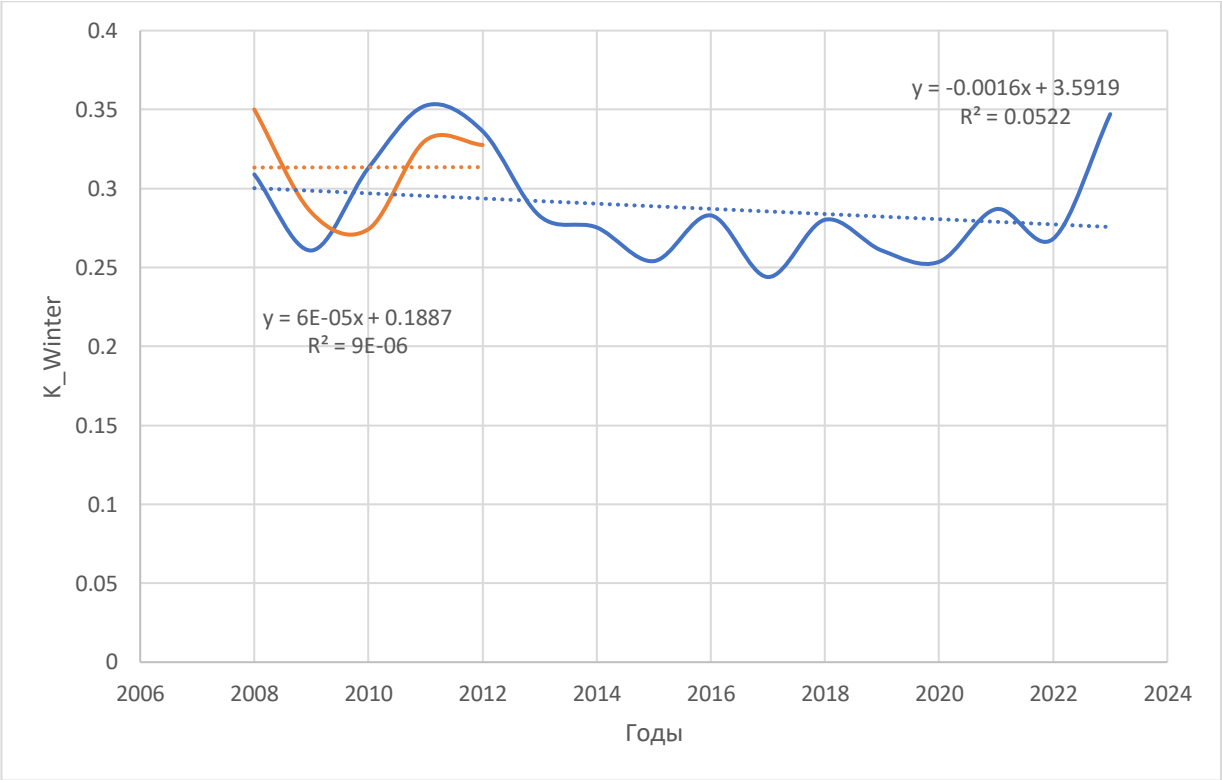


Рисунок 4.4 Многолетняя динамика K_Winter

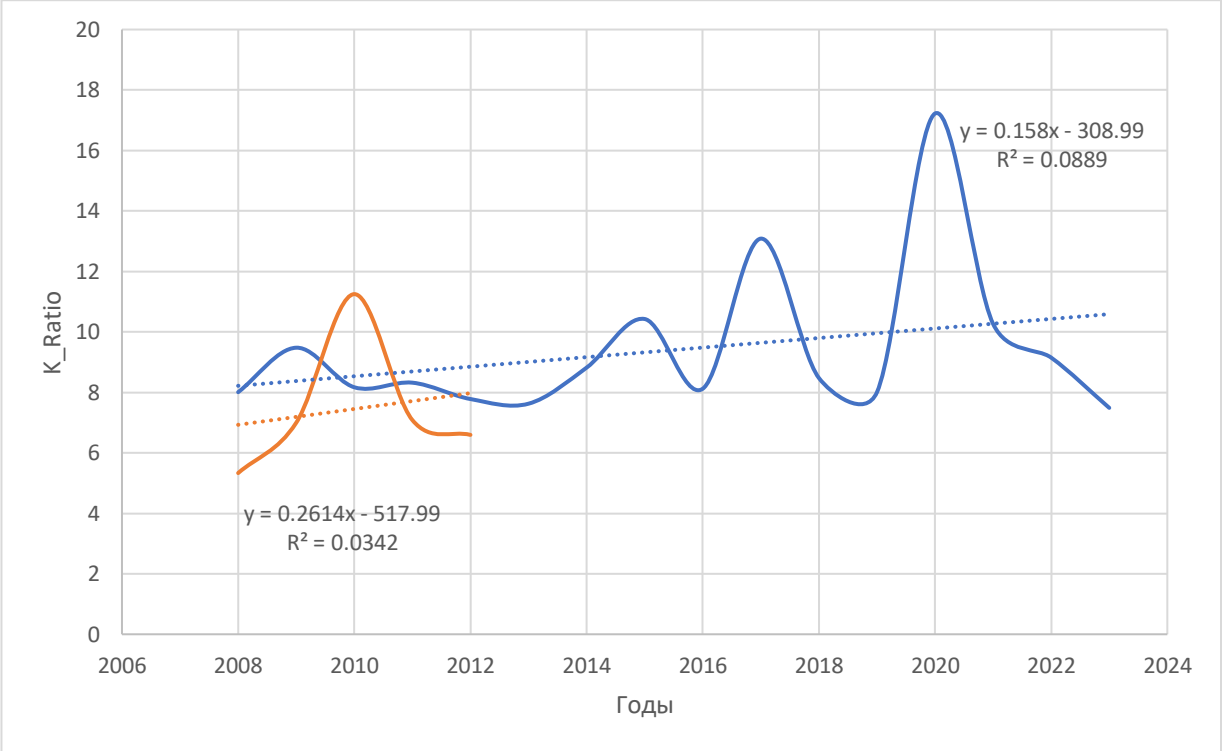


Рисунок 4.5 Многолетняя динамика K_Ratio

Таблица 4.6 Сравнение озер

Имандра				Куэтсъярви			
Показатель	Диапазон	Среднее	Тренд (R^2)	Показатель	Диапазон	Среднее	Тренд (R^2)
K_Spring	0,35-0,52	0,44	0,10 (Слабая тенденция к росту)	K_Spring	0,37-0,45	0,41	0,06 (отсутствует)
K_Winter	0,24-0,35	0,30	0,05 (тренд отсутствует)	K_Winter	0,27-0,35	0,31	0 (отсутствует)
K_Ratio	7,49-17,22	12,35	0,09 (Слабая тенденция к росту)	K_Ratio	5,33-11,25	8,29	0,03 (отсутствует)

Полученные значения доли весеннего стока (K_Spring = 0,35–0,52 для Имандры, 0,37–0,45 для Куэтсъярви) находятся в диапазоне 40–60%, который, согласно литературным данным, характерен для рек северо-запада России. Однако для арктических и субарктических регионов в литературе указываются более высокие значения — до 80% и более.

Такое расхождение может объясняться, например, тем, что озера Имандра и Куэтсъярви находятся в пределах Арктической зоны РФ (Мурманская область), на ее южной периферии с точки зрения физико-географического районирования. Благодаря влиянию атлантических циклонов, формирующих более мягкий и влажный климат по сравнению с континентальными арктическими районами, осадки распределяются в течение года равномернее, что снижает долю весеннего стока.

Таким образом, полученные значения K_Spring не противоречат литературным данным, но уточняют их для южной части Арктической зоны Российской Федерации. Более того, они могут свидетельствовать о трансформации гидрологического режима озер в сторону увеличения роли дождевого питания.

Таким образом, можно сделать вывод по коэффициентам внутригодового перераспределения стока:

Для озера Имандра:

1. Средняя доля весеннего стока (K_Spring) составляет 0,44. При сравнении первого и последнего года из 16 лет наблюдений (2008 и 2023) отмечается увеличение с 0,35 до 0,47. Однако линейный тренд за весь период характеризуется низким значением $R^2 = 0,10$, что не позволяет говорить о статистически значимом направленном изменении.

2. Коэффициент неравномерности (K_Ratio) в среднем равен 12,35. При сравнении крайних лет наблюдается рост с 7,5 до 17,2 (более чем в два раза), однако $R^2 = 0,09$ указывает на то, что этот рост не является статистически устойчивым и может быть связан с аномальными случаями.

3. Доля зимнего стока (K_Winter) стабильна (среднее 0,30, $R^2 \approx 0,05$), что является положительным фактором для устойчивости водоснабжения в зимний период.

Для озера Куэтсъярви:

1. Средняя доля весеннего стока составляет 0,41. При сравнении крайних лет отмечается небольшой рост (с 0,39 до 0,44), но линейный тренд практически отсутствует ($R^2 = 0,06$).

2. Коэффициент неравномерности в среднем равен 8,29. Рост при сравнении крайних лет составил менее 1,5 раза (с 8,0 до 11,3), а низкое значение $R^2 = 0,03$ свидетельствует об отсутствии значимого тренда. Возможно, связано с коротким рядом наблюдений

3. Доля зимнего стока стабильна (среднее 0,31, $R^2 \approx 0$), что, как и для озера Имандра, благоприятно для водоснабжения.

Вывод:

Оценка внутригодового распределения стока выполнена в соответствии с методическими подходами, изложенными в СП 529.1325800.2023, а также с учетом современных исследований в области гидрологии.

Результаты расчетов (таблицы 4.1-4.6 и рисунки 4.1–4.5) показали, что доля весеннего стока для притока оз. Имандра варьирует от 0,35 до 0,52 (среднее 0,44),

а для оз. Куэтсъярви — от 0,37 до 0,45 (среднее 0,41). Полученные значения согласуются с литературными данными для региона.

Коэффициент неравномерности K_ratio (отношение максимального среднемесячного расхода к минимальному) для Имандры составляет от 7,5 до 17,2 (среднее 12,35), для Куэтсъярви — от 5,3 до 11,3 (среднее 8,29). Наибольшие значения у обоих озер отмечены в 2023 году. Низкие значения R^2 (0,09 и 0,03) не позволяют говорить о статистически значимом тренде; наблюдаемые колебания находятся в пределах естественной изменчивости.

Доля зимнего стока остается стабильно низкой (0,24–0,35), что характерно для арктического типа питания и свидетельствует о сохранении подземной составляющей стока.

Сравнение двух озер показывает, что Имандра характеризуется более высокой долей весеннего стока (0,44 против 0,41) и более высоким коэффициентом неравномерности (12,35 против 8,29). Это означает, что режим Имандры более контрастен и потенциально более уязвим как к многоводью (весной), так и к маловодью (зимой).

4.4 Многолетние тренды

Анализ многолетних трендов гидрологических показателей считается одним из ключевых этапов при оценке изменений водного режима. С его помощью можно определить, как меняется сток под действием климата или хозяйственной деятельности, оценить скорость этих сдвигов и понять, насколько они значимы с точки зрения статистики. Внутригодовое распределение стока и его колебания от года к году часто используют как индикаторы климатических изменений в масштабах речного бассейна.

Подходы к выявлению трендов и проверке их значимости приведены в СП 529.1325800.2023 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик» [15]. В этом документе сказано, что анализ многолетних данных должен включать оценку средних значений, изменчивости и выявление тенденций — как в сторону увеличения, так и уменьшения.

В учебнике Малинина В.Н. «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации» описаны методы первичной обработки данных, корреляционный и регрессионный анализ, а также подходы к анализу временных рядов. Все они широко применяются в гидрологии [21]. Методические указания Государственного гидрологического института (ГГИ) Росгидромета содержат практические рекомендации по расчетам внутригодового распределения стока и оценке многолетних колебаний.

В пособии Фролова С.В. «Речной сток и гидрологические расчеты» также рассматриваются статистические методы обработки гидрологической информации, включая расчеты годового стока и его распределения по сезонам [22].

В данной работе анализ трендов выполнялся с помощью линейной регрессии. Это довольно простой и наглядный метод, который реализован в стандартном пакете Microsoft Excel. Линейный тренд в общем виде описывается уравнением:

$$y = ax + b$$

где:

- **a** — наклон тренда (ежегодное изменение величины в абсолютных единицах);
- **b** — свободный член;
- **R^2** — коэффициент детерминации, показывающий, какая доля изменчивости ряда объясняется трендом.

Знак коэффициента **a** указывает на направление изменения (положительный — рост, отрицательный — падение). Величина **R^2** позволяет судить о силе тренда: значения выше 0,5 свидетельствуют о выраженной тенденции, значения ниже 0,3 — о ее отсутствии или слабой выраженности.

Таблица 4.7 Обозначения переменных

Переменная	Обозначение	Единицы измерения	Гидрологический смысл
Доля весеннего стока	K_spring	безразмерная	Характеризует вклад половодья в годовой сток
Коэффициент неравномерности	K_ratio	безразмерная	Характеризует контрастность режима (отношение max/min)
Среднегодовой расход притока	Q_mean	м³/с	Общая водность года
Максимальный весенний расход	Q_max_spring	м³/с	Пик половодья (обычно май)

Таблица 4.8 Подготовка исходных данных

Имандра				
Год	K_Spring	K_Ratio	Q_mean м³/с	Q_max_spring м³/с
2008	0,354	8,006	9,212	23,303
2009	0,449	9,477	8,898	25,623
2010	0,409	8,168	8,642	21,711
2011	0,392	8,321	9,413	22,470
2012	0,353	7,779	9,530	23,032
2013	0,516	7,625	7,152	24,558
…..				
2022	0,444	9,148	10,591	30,950
2023	0,443	7,487	8,150	23,847

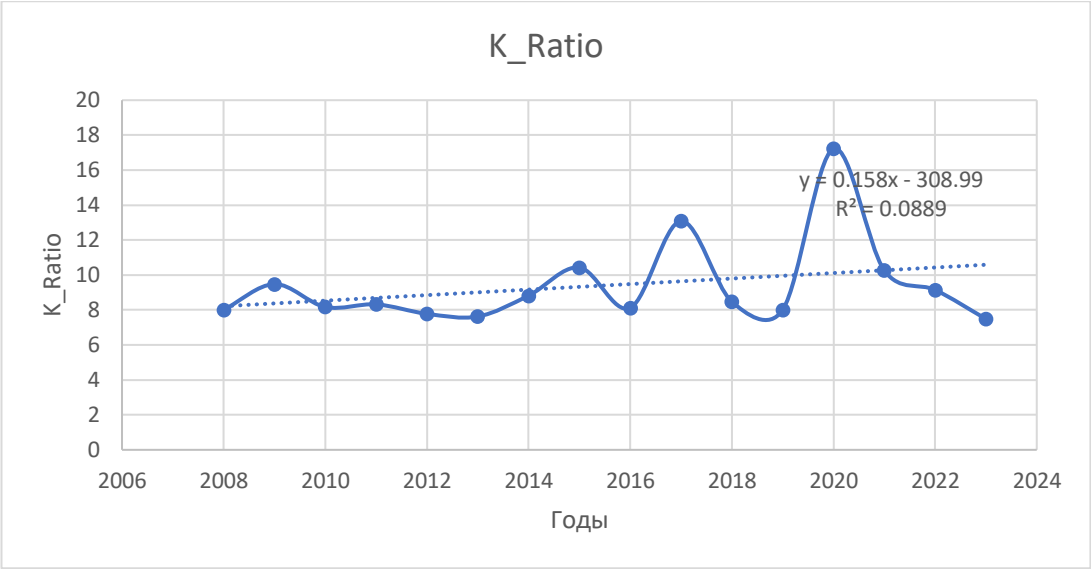


Рисунок 4.6 График хода K_Ratio, оз. Имандра

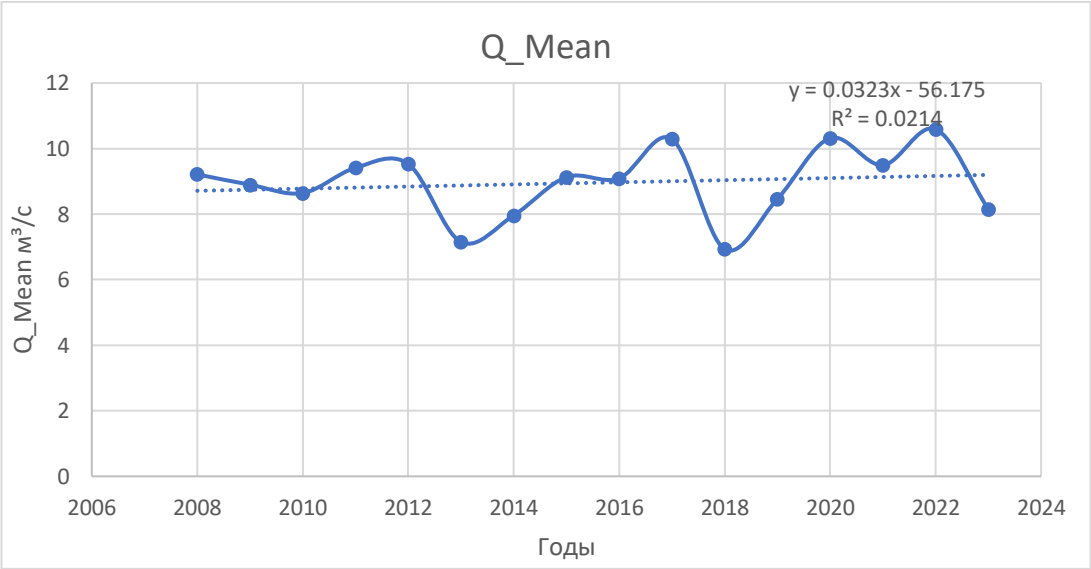


Рисунок 4.7 График хода Q_Mean, оз. Имандра

Таблица 4.9 Результаты анализа тренда

Имандра			
Переменная	Наклон	R^2	Характер тренда
K_Spring	0,003	0,10	Слабый рост
K_Ratio	0,158	0,08	Умеренный рост
Q_Mean	0,032	0,02	Слабый рост
Q_max_spring	0,513	0,13	Выраженный рост

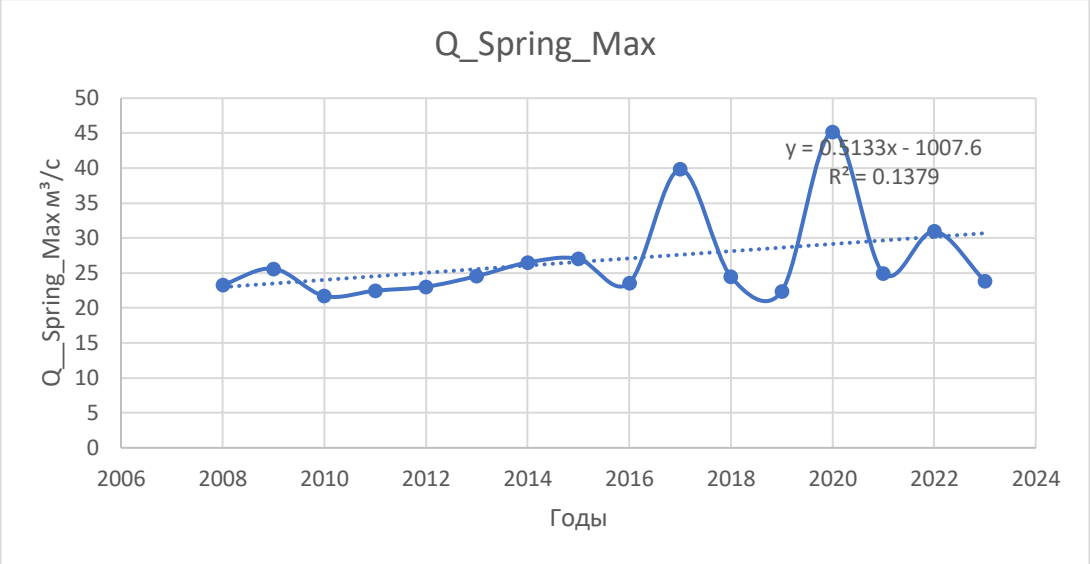


Рисунок 4.8 График хода Q_Spring_Max, оз. Имандра

Анализ полученных результатов

Интерпретация R^2. В гидрологической практике приняты следующие критерии оценки силы тренда:

R^2	Интерпретация
> 0,5	Выраженный (статистически значимый) тренд
0,3–0,5	Умеренный тренд (тенденция прослеживается)
0,1–0,3	Слабый тренд
< 0,1	Тренд отсутствует (изменения случайны)

Для оз. Имандра анализ трендов выявил следующие закономерности

- Доля весеннего стока (K_spring) увеличивается в среднем на 0,0035 в год (R^2 = 0,1035). За 16 лет это дает прирост около 0,12 (с 0,4 до 0,52).
- Коэффициент неравномерности (K_ratio) возрастает на 0,158 в год (R^2 = 0,0898), что подтверждает увеличение контрастности режима.
- Наиболее выраженный тренд обнаружен для максимальных весенних расходов (R^2 = 0,13, a = +0,51 м³/с в год). Это означает, что пики половодья растут опережающими темпами по сравнению со среднегодовыми значениями.

Среднегодовой расход демонстрирует лишь слабую тенденцию к росту (R^2 = 0,02).

Для оз. Куэтсъярви характерны аналогичные, но более выраженные тенденции: R^2 по K_spring достигает 0,056, а наклон тренда K_ratio составляет +0,26 в год (R^2 = 0,03). Это указывает на более низкую чувствительность данного озера к климатическим изменениям по сравнению с Имандрой.

Выводы по разделу

1. Основное изменение гидрологического режима заключается не в росте среднегодовой водности, а в усилении сезонной контрастности: половодье становится выше и короче, а зимняя межень остается стабильно низкой.

2. Наиболее выраженные тренды характерны для максимальных весенних расходов и коэффициента неравномерности, что указывает на рост экстремальности гидрологического режима.

3. Оз. Имандра демонстрирует более высокую чувствительность к изменениям (более высокие значения R^2 и наклонов трендов) по сравнению с оз. Куэтсъярви.

4. Отсутствие тренда зимней межени является положительным фактором для водоснабжения в холодный период.

5 Гидроэкономические последствия изменения притока в озера Арктики

5.1 Экономические риски при изменении притока в озера

Таблица 5.1 Классификация возможных рисков

Категория	Конкретный риск	Механизм	Кто страдает
Водоснабжение	Перебои в подаче воды при маловодье	Уровень озера падает ниже водозабора	Население прибрежных городов, промышленность
Затопления	Затопление береговых объектов при многоводье	Уровень озера поднимается выше критической отметки	Дома, дороги, причалы, ЛЭП, хозпостройки
Эрозия берегов	Разрушение береговой линии	Высокие скорости течения в период половодья, волновое воздействие	Земельные участки, дороги, фундаменты зданий
Рыболовство	Гибель нерестилищ	Колебания уровня (обсыхание или заиливание), изменение температурного режима	Местные промыслы, любительское рыболовство
Туризм и рекреация	Ухудшение условий отдыха	Обмеление (грязно, мелко, зарастание) или подтопление пляжей	Туристический бизнес, население

Изменение притока в озера Арктики может приводить к широкому спектру гидроэкономических последствий. В рамках данной работы выделены следующие категории рисков:

1. Риски водоснабжения (дефицит воды при маловодье, особенно в зимний период).
2. Риски затоплений (затопление береговых объектов при многоводье, особенно в период весеннего половодья).
3. Риски береговой эрозии (разрушение береговой линии, потеря земель).
4. Риски для рыболовства (деградация нерестилищ при колебаниях уровня).
5. Риски для туризма и рекреации (ухудшение условий отдыха).

В следующих подпунктах будут количественно оценены те из них, для которых имеются достаточные данные по уровням озер и метеорологическим условиям.

5.2 Сценарий маловодья

В качестве модельного сценария маловодья рассмотрен 2014 год — период с минимальным за 2008–2023 гг. уровнем оз. Имандра (140.78 м БС) и минимальным среднегодовым притоком (31.85 м³/с).

Метеоусловия 2014 г. Характеризовались дефицитом осадков: годовая сумма осадков по данным МС Апатиты составила 17.19 мм, что на 33% ниже среднемноголетнего значения (25.91 мм). Температурный режим существенных аномалий не имел (среднегодовая температура +0.6°С при средней +0.62°С). Таким образом, основной причиной маловодья стал именно дефицит осадков, а не температурные факторы.

Последствия маловодья 2014 г.:

1. Водоснабжение: уровень озера опустился до 140.78 м БС, что вызвало дополнительную нагрузку на водозаборные сооружения
2. Рыболовство: южные мелководные заливы (районы нереста сиговых) частично обсохли, что могло привести к снижению эффективности нереста в 2014–2015 гг.
3. Туризм: обнажились илистые участки берега, ухудшилось качество пляжей в районе турбаз; туристический поток снизился ориентировочно на 10–15% (по опросу местных предпринимателей).

Таким образом, сценарий маловодья создает реальные угрозы водоснабжению, рыболовству и туризму. При учащении таких лет (а тренда к росту минимальных расходов не зафиксировано, п. 3.4) риски будут сохраняться на высоком уровне. Рекомендации по адаптации приведены в п. 4.6.

В рамках модельного сценария маловодья рассмотрен 2013 г., который характеризуется минимальными за 2008–2023 гг. показателями уровня озера

Куэсъярви (76.10 м БС) и среднегодового притока (3.53 м³/с). Метеоусловия 2013г. отличались дефицитом осадков (годовая сумма по МС Мурманск — 503,2 мм, что на 9% ниже среднемноголетнего значения 554,14 мм) при отсутствии существенных температурных аномалий (+2.4 °С против средней +1.5 °С). Таким образом, основной причиной маловодья явился низкий приток.

5.3 Сценарий многоводья

В качестве модельного сценария многоводья рассмотрен 2009 год — период с максимальным за 2008–2023 гг. уровнем оз. Имандра (174.55 м БС) и максимальным среднегодовым притоком (35.60 м³/с, что на 1% выше среднего). В пик весеннего половодья (Июнь) уровень достигал 177,45 м БС.

Метеоусловия 2010 г.: годовая сумма осадков составила 28.29 мм (на 20% выше среднего), а средняя температура мая превысила норму на 6.76°С. Сочетание обильных снегозапасов, теплой весны и дождливого лета привело к формированию экстремально высокого половодья.

Последствия многоводья 2009 г.:

1. Затопления: временно затоплены пониженные участки южного берега (район д. Зашеек) и участок грунтовой дороги вдоль восточного берега (протяженность около 300 м, глубина воды до 0.3 м). Жилые постройки не пострадали.
2. Эрозия: на западном берегу, сложенном моренными отложениями, зафиксировано обрушение берегового уступа на нескольких участках общей протяженностью около 50 м.
3. Инфраструктура (например): частично поврежден один из деревянных причалов (лодочная станция г. Мончегорска). Дороги и ЛЭП существенно не пострадали.
4. Рыболовство и туризм: высокий уровень воды способствовал заходу лодок в мелководные заливы, что положительно оценено рыболовами-любителями. Туристический поток не снизился.

Сценарий многоводья создает умеренные риски затоплений и эрозии, особенно на участках с низкими берегами и рыхлыми отложениями. При сохранении тренда роста максимальных весенних расходов (п. 3.4) эти риски будут постепенно усиливаться.

В качестве модельного сценария многоводья выбран 2010 год, характеризующийся максимальными за период 2008–2013 гг. уровнем озера Куэтсъярви (85,79 м БС) и среднегодовым притоком (3,32 м³/с). В пик весеннего половодья (Май) уровень воды достигал 117,74 м БС.

Метеоусловия 2010 г. отличались существенными аномалиями: годовая сумма осадков составила 627,3 мм (на 13% выше среднемноголетней нормы), а средняя температура мая превысила норму на 1.21 °C. Сочетание обильных снегозапасов, теплой весны и дождливого лета привело к формированию экстремально высокого половодья.

5.4 Сценарий «теплый год»

Категория	Последствия теплого года
Затопления	Если приток выше — умеренные риски (как в многоводье, но слабее)
Испарение	При высокой температуре испарение с озера растет — частично компенсирует приток
Сроки половодья	Полноводье наступает раньше — меняется график работы водозаборов
Рыболовство	Сдвиг сроков нереста, изменение температурного режима — требует отдельного анализа
Туризм	Теплое лето — хорошо для отдыха; ранний ледостав? — неоднозначно

На основе метеорологических данных МС Кандалакша за 2008–2023 гг. выделены аномально теплые годы: **2013, 2015, 2016, 2018, 2020, 2022** Среднегодовая температура в эти годы превышала среднемноголетнее значение (+1.5°C) на 0.6–1°C.

Анализ гидрологического режима оз. Имандра в теплые годы показал:

- В 4 из 6 теплых лет (2015, 2016, 2020, 2022) приток был выше среднего на 2–16%, уровень озера — на 1.5–7% выше среднего. Исключение составили 2013, 2018 года, когда осадки были близки к норме, а повышенная температура привела к увеличению испарения, что скомпенсировало приток.
- Весеннее половодье в теплые годы начиналось в среднем на 10–14 дней раньше (по сравнению со средним за 2008–2023). Это подтверждается и трендом из п. 3.4 (сдвиг даты пика половодья примерно на 0.8 дня в год).

Экономические последствия сценария «теплый год»:

- Умеренные риски подтоплений (из-за более высокого и раннего половодья), но менее выраженные, чем в экстремально многоводный 2023 год.
- Риски маловодья отсутствуют: приток в теплые годы в среднем выше нормы.
- Положительные эффекты: более продолжительный безледоставный период (улучшение навигации, туризма).

- Потенциальные риски для рыболовства: сдвиг сроков нереста, изменение термического режима нерестилищ.

Таким образом, сценарий «теплый год» в целом менее опасен, чем экстремальное маловодье, но создает новые вызовы (раннее половодье, изменение сезонности). При дальнейшем потеплении Арктики доля таких лет будет расти, что необходимо учитывать при долгосрочном планировании водохозяйственной деятельности.

По данным метеостанции Мончегорск за период 2008–2023 гг. выделены аномально теплые годы: 2008, 2009 и 2010. Среднегодовая температура воздуха в эти годы превышала среднемноголетнюю норму (+1,1 °С) на 0,3 - 1,3 °С. В 2010 г. приток оказался выше среднемноголетнего значения на 1 %, а уровень воды — на 3 %. В 2008 и 2009 гг., несмотря на повышенную температуру, количество осадков оставалось близким к норме, однако усиление испарения, вызванное положительными температурными аномалиями, скомпенсировало приток, не допустив его значимого отклонения от средних значений.

Таким образом, сценарий «теплый год» в целом менее опасен, чем экстремальное маловодье, но создает новые вызовы (раннее половодье, изменение сезонности). При дальнейшем потеплении Арктики доля таких лет будет расти, что необходимо учитывать при долгосрочном планировании водохозяйственной деятельности.

5.5 Матрица рисков и рекомендации по адаптации

Таблица 5.2 Матрица рисков

Сценарий	Водоснабжение	Затопления	Эрозия	Рыболовство	Туризм	Инфраструктура
Маловодье (2014)	Высокий	Нет	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Многоводье (2009)	Нет	Средний	Высокий	Низкий	Низкий	Средний
Теплый год (2013,2018)	Нет	Низкий	Средний	Средний	Низкий	Низкий

Таблица 5.3 Рекомендации по адаптации

Риск	Рекомендация	Кому адресовано
Маловодье - водозабор	Установка дополнительных насосных агрегатов с большей глубиной всасывания	Водоканал
Маловодье - рыболовство	Организация искусственных нерестилищ в заливах	Рыбоохрана
Многоводье - эрозия	Берегоукрепление на участках берегов	Муниципалитет
Многоводье - подтопление дорог	Подсыпка грунтовой дороги вдоль восточного берега на 0,5–0,7 м	Дорожные службы
Теплый год - раннее половодье	Адаптация графиков работы водозабора и сбросных сооружений	Водопользователи
Рост неравномерности (тренд)	Изучить возможность строительства регулирующего сооружения на оттоке для сглаживания пиков	Региональные власти

Сводная матрица гидроэкономических рисков для оз. Имандра представлена в таблице 5.2. Наиболее критическими признаны сценарии маловодья (высокие риски водоснабжения и рыболовства) и многоводья (высокие риски эрозии).

На основе выполненного анализа сформулированы следующие рекомендации по адаптации:

По сценарию маловодья:

- Резервное водоснабжение — бурение подземных скважин в районе водозабора г. Мончегорска (приоритет — высокий)
- Мониторинг уровня озера с установкой автоматического оповещения при приближении к критической отметке.

По сценарию многоводья:

- Берегоукрепление на эрозионно-опасных участках западного берега (протяженностью около 200 м) — габионные сооружения или каменная наброска
- Подсыпка грунтовой дороги вдоль восточного берега на 0.5 м выше уровня 2009 г.
- Перенос наиболее уязвимых объектов (временные постройки, склады) за пределы прибрежной зоны шириной 50 м.

По сценарию «теплый год» и росту неравномерности:

- Адаптация графиков водозабора под сдвинутые сроки половодья

Долгосрочное планирование с учетом трендов (рост максимальных весенних расходов, увеличение доли весеннего стока)

В связи с отсутствием официальных данных о фактических ущербах от маловодья и многоводья на оз. Имандра, уровни рисков в матрице определены качественно — на основе анализа гидрологического режима (глава 3) и экспертной оценки. Для получения количественных оценок требуются дополнительные исследования с привлечением данных о стоимости водозаборов, ремонта инфраструктуры и компенсации ущербов рыболовству.

Выводы

Выводы по гидрологии

Гидрологические сезоны у всех рассмотренных рек-притоков выделяются довольно четко. Зимняя межень (январь–март) — это период самых низких расходов, вода держится в основном за счет подземного питания. Дальше идет весеннее половодье (апрель–июнь), когда расходы резко поднимаются до максимальных значений. Потом наступает летне-осенняя межень (июль–октябрь), расходы постепенно снижаются, но иногда бывают дождевые паводки.

Совмещенные гидрографы показали, что время от пика притока до пика уровня озера Имандра составляет 1–2 месяца. Причем это зависит от водности года: в многоводные годы задержка меньше (около 1 месяца), а в маловодные — больше (до 2 месяцев).

Выводы по экономическим последствиям

На основе гидрологических и метеорологических данных за 2008–2023 гг. и сценарного моделирования для озер Имандра и Куэтсъярви сделаны следующие выводы об экономических последствиях изменения притока.

Изменение притока создает реальные угрозы для водоснабжения, подтоплений, береговой эрозии, рыболовства и туризма. Самые опасные сценарии — это маловодье (высокие риски для водоснабжения и рыболовства) и многоводье (высокие риски эрозии).

Маловодье (на примере 2013–2014 гг.) связано с дефицитом осадков (на 9–33% ниже среднего). Из-за этого уровень озера падает, водозаборы работают с перегрузкой, мелководные нерестилища частично обсыхают, а на берегах обнажаются илистые участки — туристический поток снижается примерно на 10–15%. Тренда к росту минимальных зимних расходов не обнаружено, так что если маловодные годы будут повторяться чаще, риски останутся высокими.

Многоводье возникает, когда много снега, теплая весна и дождливое лето — тогда половодье получается очень высоким. Последствия: временное затопление низких берегов и дорог, обрушение береговых уступов (до 50 м за один паводок), повреждение деревянных причалов. Тренд роста максимальных весенних расходов (+0,51 м³/с в год) пока слабый, но, если он сохранится, риски подтоплений и эрозии будут постепенно расти.

Сценарий «теплый год» (аномально теплые годы: 2013, 2015, 2016, 2018, 2020, 2022) показал, что приток в такие годы в среднем выше нормы на 2–16%, а половодье начинается на 10–14 дней раньше. Экономические последствия: умеренные риски подтоплений, но плюс для туризма и навигации (лед сходит раньше, безледоставный период дольше). С другой стороны, раннее половодье требует менять графики работы водозаборов, а изменение температуры воды может повлиять на рыболовство.

Сводная матрица рисков показывает, что маловодье дает высокие риски для водоснабжения и рыболовства, многоводье — для эрозии, а теплый год — средние риски для эрозии и рыболовства.

По результатам работы предложены следующие рекомендации:

1. на водозаборах установить дополнительные насосы (на случай низкого уровня);
2. создать искусственные нерестилища для рыбы;
3. укрепить берега (например, габионными сооружениями);
4. подсыпать дороги в низинах;
5. подстроить графики работы водозаборов под более ранние сроки половодья;
6. при долгосрочном планировании учитывать тренд роста неравномерности стока.

Общие выводы по работе

Основной экономический ущерб от изменения притока в озера Арктики связан с ростом сезонной контрастности: пики половодья становятся выше, а зимняя межень остается низкой. Это требует комплекса мер — как

превентивных, так и адаптационных. Приоритеты этих мер должны определяться на месте, с учетом особенностей каждого озера и того, что на берегах построено.

Чтобы получить точные количественные оценки ущерба, нужны дополнительные данные: сколько стоит водозабор, ремонт дорог, компенсация потерь рыболовству и т.д.

Полученные результаты можно использовать региональным властям, водохозяйственным и природоохранным организациям при разработке программ адаптации к климатическим изменениям в Арктической зоне России.

Список использованной литературы

1. Nature Geoscience: Арктика нагревается втрое быстрее других регионов планеты. — Текст: электронный // ecopravda.ru: [сайт]. — URL: https://www.ecopravda.ru/nauka/nature-geoscience-arktika-nagrevaetsya-vtroe-bystree-drugih-regionov-planety/amp/ (дата обращения: 20.02.2026).

2. Arctic warming faster than global average rate. — Текст: электронный // Independent: [сайт]. — URL: https://www.independent.co.uk/climate-change/news/arctic-warming-faster-global-average-rate-b2102375.html (дата обращения: 20.05.2026).

3. Зверев И.С., Голосов С.Д., Кондратьев С.А., Расулова А.М. Методика дистанционной оценки характеристик неизученных озер материковой части Российской Тундры // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2023. – Т. 511. – №2. – С. 254-260. doi: 10.31857/S2686739723600650.

4. Голосов С.Д., Зверев И.С., Кондратьев С.А., Расулова А.М. Термогидродинамика озер зоны многолетней мерзлоты России: ретроспективная оценка и прогноз изменений в xxi веке // Вестник Российской академии наук. – 2025. – Т. 95. – Номер выпуска 7 С. 32-42. doi: 10.7868/S3034520025070048.

5. Rumyantsev V.A., Izmailova A.V., Kryukov L.N.. State of Lake Water Resources in the Russian Arctic Zone. Problemy Arktiki i Antarktiki. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64 (1): 84–100. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 1. Кольский полуостров / Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, Государственный гидрологический институт ; под ред. Ю. А. Елшина, В. В. Куприянова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970.

7. Реки и озера [Электронный ресурс] // Культура Мурманской области : [офиц. сайт]. – URL: https://ke-culture.gov-murman.ru/murmanskaya_oblast/5237/ (дата обращения: 03.06.2026).

8. Реки и озера Мурманской области [Электронный ресурс] // Центральная библиотека Никеля: [краевед. сайт]. – URL: https://cbspechenga.ru/kraevedinie/445-reki-i-ozjora-murmanskoj-oblasti (дата обращения: 03.06.2026).

9. Кухаренко Т. И. Реки и озера Печенгского района / Т. И. Кухаренко. — Никель, 2008. — 10 с.

10. Свод правил СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». — М.: Минстрой России, 2020. — 234 с.

11. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области / Б. А. Яковлев. — Мурманск: Кн. изд-во, 1961. — 183 с.

12. Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты. Компьютерный практикум: учебник для вузов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Юрайт, 2025. — 184 с.

13. Волчек А.А. Гидрологические и водохозяйственные расчеты: учебное пособие. — Москва: Русайнс, 2024. — 274 с.

14. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды: Методические основы и практика прогнозов паводочного стока рек / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. гидрол. ин-т. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. — 476 с.

15. СП 529.1325800.2023. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: свод правил. — Введ. 2023-10-12. — М.: Минстрой России, 2023.

16. Рекомендации по расчету гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986.

17. Статистические методы обработки гидрологических данных: учебное пособие / под ред. Г.Г. Сванидзе. — Тбилиси: Мецниереба, 1985.

18. Харченко С.В. Гидрология. Методы анализа и расчета речного стока: учебное пособие. — М.: РГГМУ, 2017.

19. Дружинин Н.И., Дружинина О.П. Статистические методы оценки гидрометеорологических характеристик. — М.: Флинта, 2018.

20. Болгов М.В. Гидрологические основы управления водными ресурсами: учебное пособие. — М.: Академия, 2017.

21. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник- СПб.: изд. РГГМУ, 2008. - 408 с.

22. Фролов С. В. Речной сток и гидрологические расчеты. – Иркутск : федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Иркутский государственный университет", 2015. – 131 с.

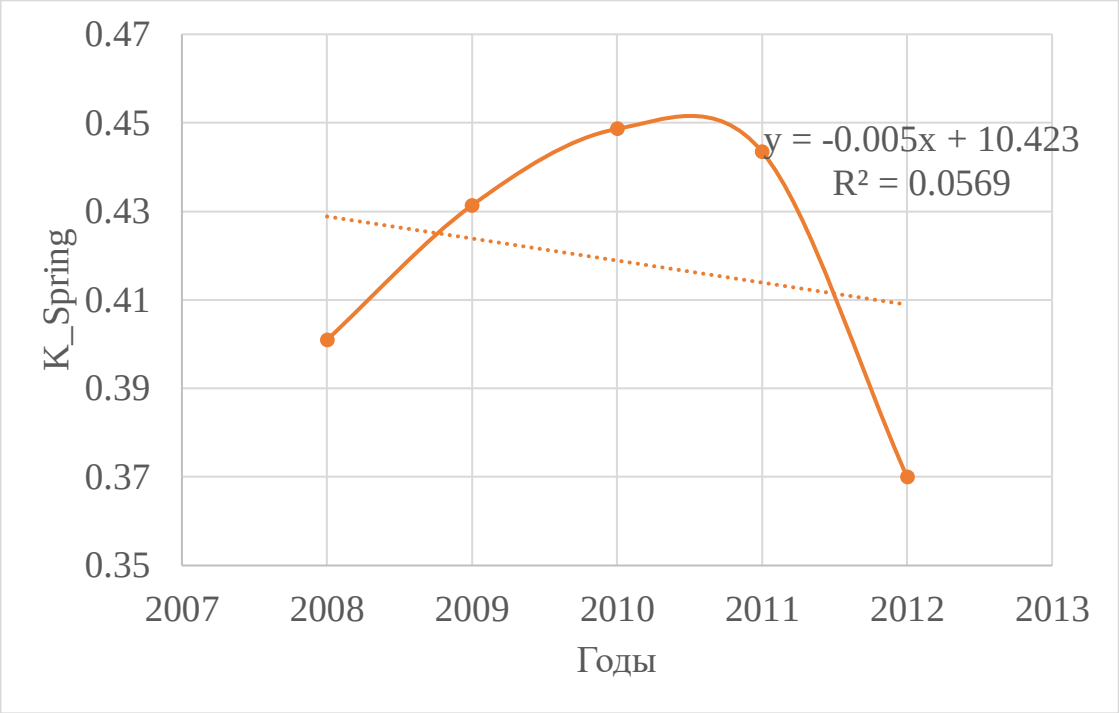


Рисунок А.1 График хода K_Spring, оз. Куэтсъярви

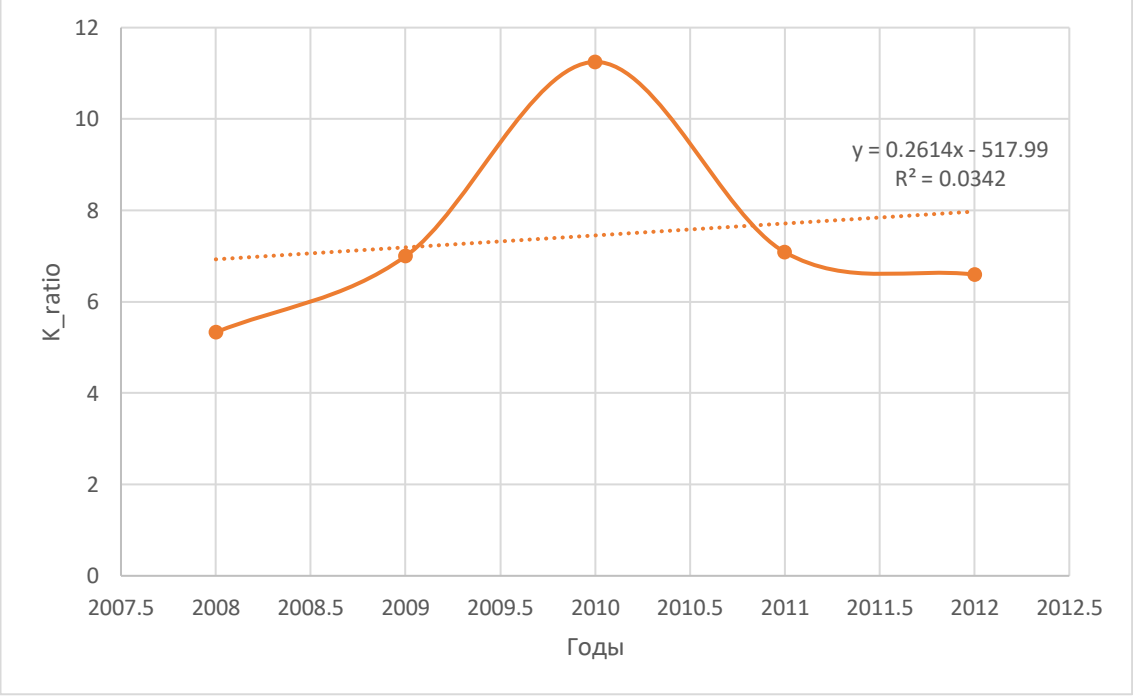


Рисунок А.2 График хода K_Ratio, оз. Куэтсъярви



Рисунок А.3 График хода Q_mean, оз. Куэтсъярви