



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 Уровенный режим озера
Лендерское

Исполнитель Козеева Елизавета Александровна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Заведующий кафедрой водно-технических изысканий,
к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

к.г.н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«12» июль 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

Оглавление

Введение	2
1 Физико-географическое описание.....	3
1.1. Географическое положение	3
1.2. Рельеф	4
1.4. Климат.....	7
1.5. Растительный и животный мир	9
2 Гидрометеорологическая изученность района	15
3 Методы используемые в работе	17
4 Результаты анализа изменений климата.....	20
5 Анализ уровня режима озера Лендерское	26
Заключение	38
Список использованных источников	39

Введение

Озеро – это замкнутое углубление в земной поверхности, заполненное водой и не имеющее непосредственного соединения с океаном.

Озера представляют собой ресурсы водоснабжения населения и промышленности, транспортные пути, являются регуляторами стока для вытекающих рек, используются для гидротехнического строительства, нужд энергетики и сельского хозяйства.

Уровенный режим озер формируется под воздействием климатических факторов и факторов подстилающей поверхности [1].

Цель данной работы: анализ уровня режима озера Лендерское.

Задачи работы:

1. Ознакомиться с физико-географическим описанием территории где находится исследуемое озеро;
2. Ознакомиться с озером Лендерское и с гидрометеорологической изученностью озера;
3. Проанализировать климатические характеристики;
4. Взять исходные данные по уровням воды озера Лендерское;
5. Выполнить статистическую обработку данных уровней воды;
6. Проанализировать полученные данные.

1 Физико-географическое описание

1.1. Географическое положение

Озеро Лендерское расположено в западной части Республики Карелии в Муезерском районе. Муезерский район приравнен к районам Крайнего Севера, который расположен в западной части средней Карелии вдоль границы с Финляндией.

Это второй по площади район Карелии, занимающий 17,7 тыс. км².

Район граничит с севера с территорией муниципального образования г. Костомукша, Калевальского района; с востока — с Беломорским, Сегежским и Медвежьегорским районами; с юга — с Суоярвским районом; с запада по линии Государственной границы на протяжении 700 км — с Финляндией (рис. 1).

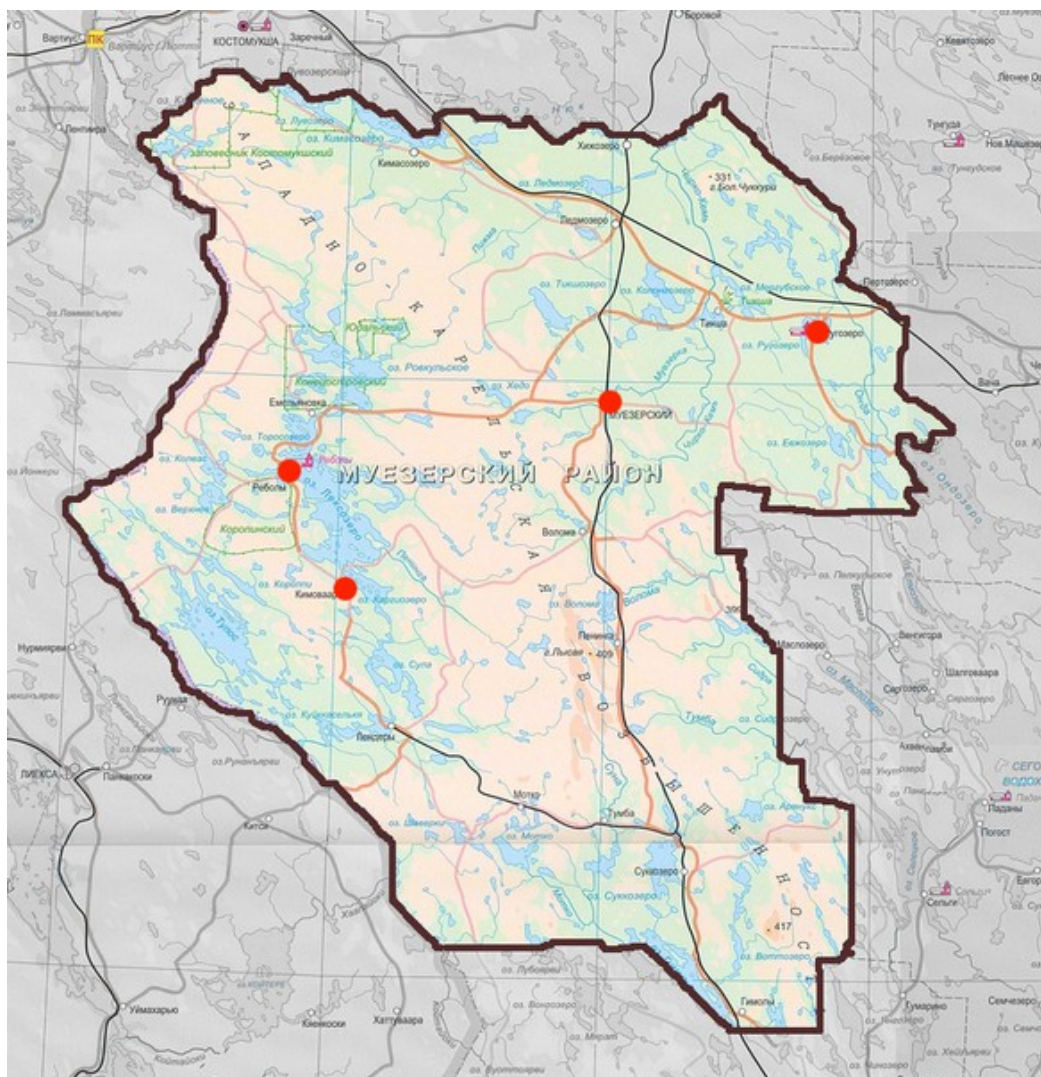


Рисунок 1. Карта Муезерского района

1.2. Рельеф

Муезерский район в основном характеризуется холмисто-равнинным рельефом с абсолютными отметками, не превышающими 200 м над уровнем моря. Частая смена гряд и холмов различного рода понижениями придает поверхности района чрезвычайно расчлененный характер, несмотря на сравнительно малые высотные отметки.

Наибольшими высотами и расчлененностью отличается западная часть территории со средними абсолютными высотами 300-340 м. Здесь, на границе с Финляндией, располагается моренная гряда Маанселькя,

являющаяся водоразделом между бассейнами Балтийского и Белого морей. Из-за этого рельеф района низкогорный, сильно пересеченный.

Вторым наиболее приподнятым участком является Западно-Карельская возвышенность с расчлененным денудационно-тектоническим рельефом и с преобладающими высотами от 180 до 300 м. Она представляет собой юго-восточные отроги хребта Маанселькя. Также здесь находится высшая точка района – гора Воттоваара с абсолютной высотной отметкой 417,1 м. Ее тектонического происхождения оставило обломки скал и разнообразные валуны, разбросанные в хаотичном порядке, а склоны горы покрыты лесами.

Первоначально рельеф территории был сформирован тектоническими движениями, а в последующем сильно видоизменен эрозией и аккумуляцией, связанными с четвертичным оледенением.

В результате тектонических процессов возникли характерные для района разломы земной коры и ступенчатые сбросы, идущие в двух взаимно перпендикулярных направлениях: с северо-запада на юго-восток и с юго-запада на северо-восток. Следы оледенения проявляются в ледниковых формах рельефа, представленных вытянутыми с севера–запада на юго-восток моренными грядами, озами, друмлинами.

Рельеф территории характеризуется значительной пересеченностью, значительным количеством болот и озер. Здесь развит типичный только для Карелии сельговый рельеф – невысокие гряды северо-западного простирания чередуются с болотистыми низинами и многочисленными озерными котловинами.

Территория района преимущественно покрыта сосновыми лесами (70%). Характерны ландшафты лесной зоны Фенноскандии (еловые леса с сочетанием сфагновых болот).

На территории района встречаются различные типы болотных массивов: сфагновые верховые, а также с топкими грядово-мочажинными комплексами, переходные осоково-сфагновые, травяные приозерные и разные типы лесных болот. Общая площадь болот в районе 410 тыс.га (23,1 % территории).

1.3. Геологическое строение

В геологическом отношении район является частью Балтийского кристаллического щита и представляет собой область распространения преимущественно древнейших кристаллических пород архейско-протерозойского комплекса.

Молодые архейские образования представлены гнейсо-гранитами, в составе которых огнейсованные граниты, грано-диориты и магматиты.

В составе протерозоя выделяют нижнюю и верхнюю подгруппы. Для исследуемого района характерны образования нижнего и среднего протерозоя.

В качестве нижнего протерозоя развиты разнообразные сланцы, представляющие собой глубоко измененные эффузивы и туфы и подчиненные им терригенные и карбонатные отложения.

Породы среднего протерозоя представлены терригенными осадками, известняками, доломитами и вулканогенными образованиями.

В своей основе Балтийский кристаллический щит сложен архейскими гранитами, сиенитами, слюдистыми сланцами, диабазами, амфиболитами и другими массивно-кристаллическими породами. С поверхности эти породы прикрыты четвертичными отложениями, которые представлены сложным комплексом ледниковых отложений (глинистые и песчано-валунные морены, ленточные глины, озовые и камовые пески и супеси), морских песчано-

глинистых отложений межледникового и послеледникового времени, озерноаллювиальных и болотных отложений (торфяники). Из-за того, что эти отложения не отличаются большой мощностью, коренные породы часто выходят на поверхность.

1.4. Климат

Муезерский район расположен в северо-западной части умеренного климатического пояса. Климатический режим района формируется в условиях преобладания воздушных масс атлантического и арктического происхождения.

На территории района формируются неустойчивые погодные условия в течении всех сезонов: продолжительная, но не суровая зима; поздняя весна, с частыми возвратами холодов; прохладное и короткое лето; высокая относительная влажность воздуха и значительное количество осадков. Особенности атмосферной циркуляции, количество поступающей солнечной радиации, близость Балтийского, Белого и Баренцева морей, комплекс местных условий – все это влияет на формирование неустойчивых погодных условий.

Самым холодным месяцем в году является январь. Средняя месячная температура воздуха января составляет около -12°C .

Первые заморозки в среднем отмечаются в конце августа. В первой декаде сентября температура воздуха устойчиво опускается ниже $+10^{\circ}\text{C}$, а к началу октября ниже $+5^{\circ}\text{C}$. Продолжительность периода с температурами воздуха ниже -5°C составляет в среднем 125-130 дней. Однако заморозки возможны в среднем до 10 июля.

Зима в районе продолжается 5,5-6 месяцев – с третьей декады октября до начала второй декады апреля. Во второй половине ноября-начале декабря образуется устойчивый снежный покров. Он сохраняется в среднем до

второй-третьей декады апреля. Число дней со снежным покровом 165-170 дней.

За начало весны принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0 °С. В Муезерском районе он осуществляется в конце апреля. В мае рост продолжается и в начале июня температура воздуха переходит через 10°С. Период с положительными средними суточными температурами воздуха длится 95-100 дней. Весна характеризуется частыми возвратами холодов и иногда кратковременными установлениями снежного покрова. К концу апреля вся территория освобождается от снежного покрова.

За начало лета принимается устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С. В Муезерском районе лето наступает в конце мая и продолжается в среднем около трех месяцев. Самым теплым месяцем года является июль, среднемесячная температура воздуха которого составляет +15-+16°С.

В течении всего года преобладают морские воздушные массы, сформировавшиеся над Атлантикой. Они обуславливают высокую относительную влажность воздуха (около 80% в среднем за год). Наибольшая относительная влажность воздуха наблюдается в ноябре-декабре и составляет до 90-92 %. В это время приход солнечного тепла и испарение минимальны. Начиная с февраля-марта значения относительной влажности воздуха интенсивно уменьшаются. Наименьшие ее значения отмечаются в мае-июне, и она не опускается ниже 60% в среднем за месяц.

По количеству выпадающих осадков район относится к территории избыточного увлажнения. Это связано со сравнительно небольшим приходом тепла и хорошо развитой циклонической деятельностью, которая активно проявляется во все сезоны года.

В среднем за год на территории Муезерского района количество осадков составляет 550-750 мм. Наибольшая годовая сумма осадков

наблюдается в августе и составляет 700-750 мм. Наименьшее количество осадков наблюдается в феврале и составляет 550-570 мм.

Внутри года количество осадков распределяется неравномерно. Влияние возвышенностей на перераспределение осадков более заметно в теплый период, нежели в холодный. В теплый период на возвышенностях наблюдается увеличение количества осадков.

1.5. Растительный и животный мир

Рассматриваемая территория расположена преимущественно в таежной зоне. Муезерский район пересекают две широтные полосы этой зоны: северотаежная и среднетаежная.

Таежные полосы представлены тремя типами растительности: еловые леса, сосновые леса, сфагновые торфяно-осоковые и кустарничковые болота.

Господствующим типом растительности являются леса, состоящие преимущественно из хвойных пород – сосны и ели. Леса покрывают 2/3 территории Муезерского района. Преобладание сосновых лесов объясняется широким распространением песчаных отложений и обнаженных коренных пород. Еловые леса распространены на территориях, где подстилающими породами служат супесчаные, суглинистые и глинистые ледниковые отложения с характерным содержанием валунов. Они в основном приурочены к гидрографической сети, межгрядовым и межхолмовым понижениям с влажными почвами.

В лесном покрове господствуют сосняки, они составляют около 80 % всей покрытой лесом площади. Обычны крупные массивы сосновых лесов с отдельными вкраплениями ельников. Фрагментарно встречаются березняки, которые возникли на местах бывших сенокосов и гарей. Очень редки осинники, которые формируются на местах заброшенных сельскохозяйственных угодий.

На территории района встречается около 600 видов сосудистых растений. Здесь преобладают широко распространенные таежные виды. Многие южные виды, такие, как ландыш майский, осока пальчатая, орляк, звездчатка дубравная, кислица. Западные виды представлены водными растениями (полушники озерный и колючеспоровый, лобелия Дортмана). Присутствуют здесь и восточные виды, некоторые из которых, например, резуха северная, горец раковые шейки.

Также на территории Муезерского района встречается около 15 видов, внесенные в Красные книги РСФСР и Карелии (полушники озерный и колючеспоровый, пальцекорник Траунштейнера, лобелия Дортмана).

Болота и заболоченные земли занимают около 20 % территории. Болота преимущественно верховные (сфагновые), отчасти низинного и переходного характера (осоковые, осоково-пушицевые, осоково-сфагновые и др.).

Растительный покров подвергся длительному воздействию человека. Большое количество земель распаханно или превращено в сельскохозяйственные угодья. В настоящее время культурной растительностью занято около 12 % площади.

В районе зарегистрировано 7 видов-представителей отряда Насекомоядных (обыкновенная и малая бурозубка), 1-Рукокрылых (кожанок северный), 1-Зайцеобразных (заяц-беляк), 16-Грызунов (белка обыкновенная, бобр канадский, лемминг лесной, рыжая полевка, ондатра), 13-Хищных (волк, горностай, лисица обыкновенная, медведь бурый, куница лесная) и 3 из отряда Парнокопытных (лось, кабан).

Из общего числа 13 видов включены в "Красные книги" Карелии, России, Финляндии, Восточной Фенноскандии (бурозубка крошечная, белка-летяга, хорь черный, россомаха, выдра, рысь, лесной северный олень).

1.6. Экономика и транспорт

Основу экономики Муезерского района составляет лесная промышленность. Здесь преобладает заготовка древесины.

Работает несколько карьеров, в частности недалеко от поселка Гимолы.

Работают предприятия в сфере услуг, розничной торговли.

Малое и сокращающееся население Муезерского района не способствуют развитию экономики.

Мешает этому большая площадь района и не слишком хорошая сеть дорог. Исключением стала трасса 86К-6, которая пересекает Муезерский район в северной части, все остальные дороги – грунтовые. Их состояние зависит от того, как часто ей пользуются, если движение оживленное (по местным меркам), то за этой дорогой будут следить и по ней можно будет ехать 60-80 км/ч. Однако после сильных дождей грунтовые дороги нередко приходят не в самое лучшее состояние, поэтому не стоит планировать среднюю скорость движения более 50 км/ч.

Сеть железных дорог серьезно облегчает жизнь местному населению. Есть ветки до Костомукши, Суоярви, ветки Кочком-Ледмозеро и Лендеры-Брусничная. Регулярное автобусное сообщение есть между всеми крупнейшими населенными пунктами [2, 3, 4].

1.7. Описание озера

Озеро Лендерское – пресное озеро в западной части Республики Карелии, на территории Муезерского района. Озеро относится к бассейну Ладожского озера.

Котловина ледникового происхождения, склоны пологие и на расстоянии 1,0-1,5 км от берега неизменно сливаются с окружающей местностью. Берега наибольшей частью низкие, каменистые и песчано-каменистые местами заболоченные.

Дно озера ровное. Подводные береговые склоны, а также склоны впадины пологие, без ясно выраженных неровностей. До глубины 1-2,5 м расположены песчаные и каменистые грунты, ниже залегают илы серо-зеленой окраски. Иногда в них встречаются включения руды.

Озеро Лендерское вытянуто с северо-запада на юго-восток, общей площадью 9,9 км². Наибольшая глубина составляет 8 м, а средняя глубина – 2,6 м. Длина озера – 3,9 м, максимальная ширина – 3 м. Площадь водосбора – 4670 км². Длина береговой линии – 26,6 км. На озере 8 островов общей площадью 0,4 км².

Основные притоки — река Лендерка и река Войдома. Сток в озеро Куйккаселькя.

Прозрачность воды от 2,4 до 2,9 м, средняя 2,6 м. Дно в основном покрыто зелёными илистыми отложениями, цвет воды жёлто-коричневый.

Водная толща озера быстро прогревается от поверхности до дна и столь же быстро охлаждается.

Гидрохимический режим удовлетворительный для существования рыб.

Высшая водная растительность довольно хорошо развита. Общая протяжение зарослей составляет не менее 13 % всей длины береговой линии. Общая площадь надводных зарослей 0,2 км², а подводных 0,1 км². Чистые заросли тростника встречаются редко. В основном у низких заболоченных берегов смешанные тростниково-камышовые заросли, а также осоки. В южной половине озера часто встречаются рдесты, иногда кувшинки, гречиха земноводная и другие водные растения.

В качестве фауны озера наиболее видную роль играют водные насекомые и моллюски.

Известно, что в озере обитает 13 видов рыб. Из них: ряпушка, щука, окунь, сиг, лещ, плотва, налим, кумжа, елец, язь, уклей, ерш и подкаменщик[3, 5].

1.8. Водный режим

В годовом ходе уровня воды наиболее отчетливо выделяется весеннее половодье. Наивысший уровень воды наступает в мае-июле после того, как озеро очищается ото льда. Спад уровней воды плавный, иногда нарушается отдельными повышениями от выпадающих осадков. Из-за дождей может наблюдаться осенний подъем уровня.

Летний минимум наблюдается в июле-августе. Зимнее понижение уровней воды до наименьших годовых значений приходится на март-апрель. Годовая амплитуда колебаний озера Лендерское колеблется в пределах от 40 см до 110 см. Размах многолетних колебаний уровня воды около 2 м. Ливневые паводки выражены слабо.

Выделяют три типа озер, сходные по водному режиму, в зависимости от величины $K = \frac{F_{\text{оз}}}{F}$: 1) $K \geq 0,10$; 2) $0,03 < K < 0,10$; 3) $K < 0,03$. Здесь $F_{\text{оз}}$ – площадь зеркала озера и F – площадь водосбора. Озеро Лендерское относится к третьему типу.

Для озер третьего типа характерен большой размах колебаний уровня воды: глубокая зимняя сработка, высокий и резкий весенний подъем и в большинстве случаев кратковременное низкое стояние летних уровней воды (до 1 месяца). Высота весеннего подъема в среднем составляет 140-200 см. Наибольшая высота весеннего половодья составляет 260 см. Интенсивность подъема 3-5 см/сут, максимальная интенсивность 18 см. Высота осеннего подъема в среднем составляет 40 см, но в многоводные года она может достигать высоты весеннего подъема. Зимние уровни в среднем понижаются на 50 см до минимальных значений в марте-апреле[2].

2 Гидрометеорологическая изученность района

Ближайший гидрологический пост – п. Лендеры (табл. 1, рис. 2). Пост расположен в поселке. Прилегающая местность среднехолмистая, покрыта смешанным лесом с преобладанием хвойных пород. Понижения между холмами плоские, обычно заболоченные, частично заняты мелкими озерами. Грунты песчано-каменистые, в пониженных местах – торфянистые.

Долина реки ясно выражена. Склоны скалистые, крутые, высотой до 10-15 м. Пойма прерывистая, в районе поста отсутствует. Русло реки извилистое, с озеровидными расширениями, на участке поста прямолинейное, каменистое. Берега обрывистые, высотой 2-3 м. Режим уровня искажен лесосплавом.

Пост речный, расположен на правом берегу. Рейка укреплена на устое автодорожного моста. Высота БС реперами поста передана нивелировкой IV класса. ГМС 1976 г. Отметка нуля поста 145,06 м БС. Гидроствор №1 расположен в створе поста. Расходы измеряются с автодорожного моста. Толщина льда измеряется в 0,5 км выше поста на середине реки.

Ближайшая метеорологическая станция – п. Реболы (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Гидрологический пост/метеорологическая станция

Гидрологический пост/метеорологическая станция	Индекс	Период действия	Площадь водосбора, км ²	Площадь озера, км ²
п. Лендеры	72738	действующий	4670	9,9
п. Реболы	22602			



Рисунок 2. Схема гидрометеорологической изученности района

3 Методы используемые в работе

Под статистической однородностью понимается принадлежность элементов гидрологических характеристик и их параметров (среднего значения, дисперсии, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции отдельных частей ряда) к одной совокупности. Однородность выборочных статистических параметров во времени называется стационарностью. В настоящем стандарте использованы статистические критерии однородности, адаптированные к специфике гидрологических рядов наблюдений (учет автокорреляции, асимметрии и длительности рядов наблюдений).

Оценка однородности гидрологических рядов наблюдений по статистическим критериям Стьюдента (для средних значений) и Фишера (для дисперсий) состоит сравнении расчетного значения статистики критерия для однородных последовательных частей ряда, полученной по эмпирическим данным, с ее критическим обобщенным значением, при заданном уровне значимости, объеме выборки, коэффициентах автокорреляции и асимметрии. Как правило, уровень значимости задается равным 5%, что соответствует принятию нулевой гипотезы об однородности временного ряда с вероятностью 95%.

Статистически значимые линейные тренды в ходе многолетних колебаний гидрометеорологических характеристик свидетельствуют о том, что имеет место статистическая неоднородность во времени или, что, тоже самое, нестационарность рассматриваемых гидрологических характеристик, т.к. в этом случае закономерно изменяется во времени среднее значение.

3.1. Критерий Стьюдента

Расчетное значение статистики критерия Стьюдента t определяется по формуле:

$$t = \frac{Y_{cp1} - Y_{cp2}}{\sqrt{n_1 \sigma_1^2 + n_2 \sigma_2^2}} * \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 2)}{n_1 + n_1}} \quad (1)$$

где Y_{cp1} , Y_{cp2} и σ_1 , σ_2 – средние значения и дисперсии двух последовательных выборок, соответственно; n_1 и n_2 – объемы выборок.

Оценка однородности по критерию Стьюдента осуществляется путем сравнения расчетных значения t и критических значений статистики t^* . Если расчетное значение t , полученное по формуле больше критического значения t^* при заданном уровне значимости, то гипотеза об однородности отклоняется и ряд рассматриваемой гидрологической характеристики признается неоднородным.

3.2. Критерий Фишера

Расчетные значения статистики Фишера F для оценки однородности дисперсий для двух последовательных частей ряда определяются по формуле:

$$F = \frac{\sigma_j^2}{\sigma_{j+1}^2}, \text{ при } \sigma_j^2 > \sigma_{j+1}^2 \quad (2)$$

где σ_j^2 , σ_{j+1}^2 – дисперсии 2-х следующих друг за другом частей выборок ($j, j+1$) объемом n_1 и n_2 , соответственно.

Гипотеза о однородности дисперсий принимается при заданном уровне значимости $\alpha, \%$, если расчетное значение статистики критерия F меньше критического F^* при заданных степенях свободы, соответствующих объемам выборок n_1 и n_2 .

Критические значения статистик Стьюдента t^* и Фишера F^* определяются в зависимости от уровня значимости $\alpha, \%$, коэффициента внутрирядной корреляции $r(1)$ и коэффициентах асимметрии C_s .

3.3. Оценка значимости линейных трендов

Для оценки значимости линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции R . Гипотеза об отсутствии тренда не опровергается, если выполняется условие $\frac{|R|}{\sigma_r} < t_{2\alpha}$, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$, где σ_r – стандартная ошибка, определяется как:

$$\sigma_r = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}} \quad (3)$$

где n – длина ряда [6, 7].

4 Результаты анализа изменений климата

Для объяснения изменений многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за средней годовой температурой воздуха и годовыми суммами осадков по метеостанции Реболы за 1974-2013 гг.

По данным о средней годовой температуре воздуха был построен хронологический график (рис. 3).

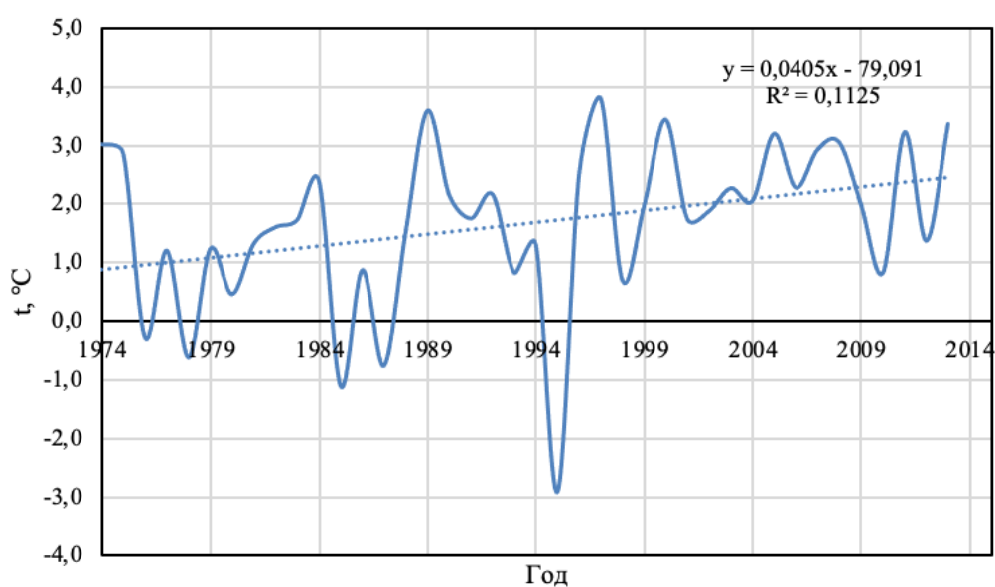


Рисунок 3. Хронологический график среднегодовых температур воздуха

Для ряда средних годовых температур воздуха наблюдается тенденция на повышение. Средняя скорость изменения температуры составляет $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. В 1995 г. наблюдается наименьшая среднегодовая температура воздуха $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате оценки для ряда температур был выявлен статистически значимый линейный тренд при уровне значимости 5% (табл. 2).

Таблица 2. Оценка значимости линейного тренда

	n	R^2	R	σ_r	R/σ_r	$t_{2\alpha}=5\%$	$H_0:R=0$	Значимость тренда
t, °C	40	0,1125	0,34	0,15	2,19	2,02	опр.	тренд значим

При проверке ряда среднегодовых температур воздуха на однородность по критерию Стьюдента ряд оказался однородным, а по критерию Фишера гипотеза об однородности опровергается, то есть ряд неоднородный (табл. 3).

Таблица 3. Проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера

	$ t^* $	$t_{2\alpha\%}$	$H_0: x_1=x_2$	F^*	$F_{2\alpha\%}$	$H_0: D_1=D_2$
$t, ^\circ\text{C}$	1,73	2,02	не опр.	0,77	0,46	опр.

Была построена разностно-интегральная кривая (рис. 4).

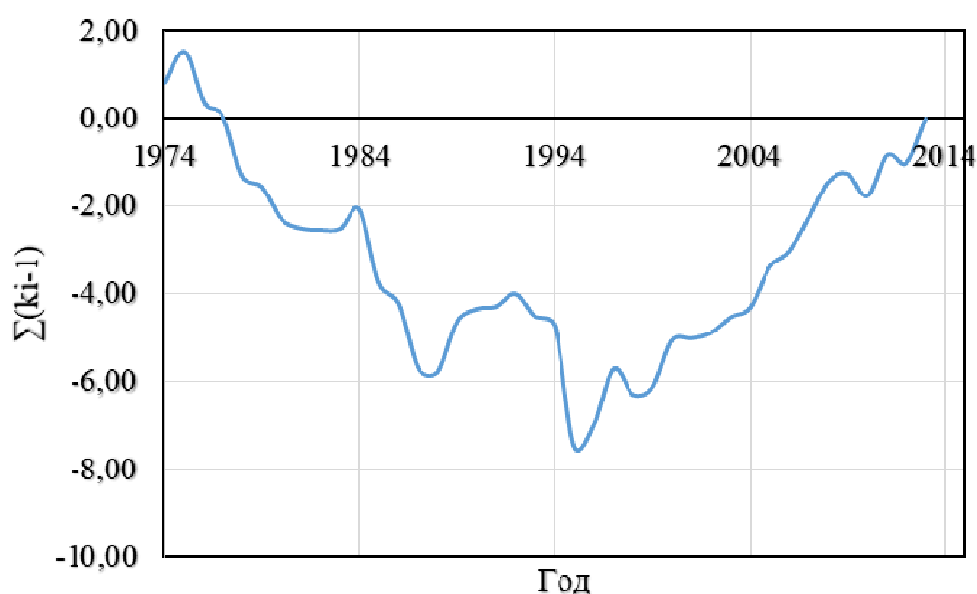


Рисунок 4. Разностно-интегральная кривая среднегодовых температур воздуха

По графику видно, что до 1995 г. наблюдается тенденция на уменьшение температур воздуха. Исходя из этого ряд средних годовых температур воздуха был разбит на два периода – 1974-1995 гг. и 1996-2013 гг. (рис. 5).

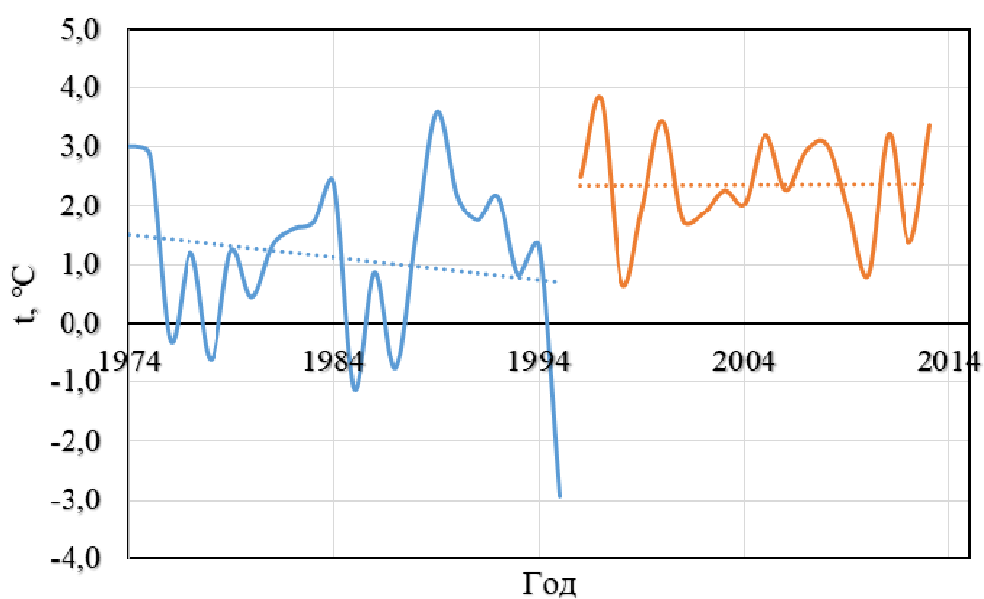


Рисунок 5. Хронологический график среднегодовых температур воздуха с 1974 по 1995 гг. и с 1996 по 2013 гг.

В период с 1974 г. по 1995 г. наблюдается тренд на понижение, а в период с 1996 г. по 2013 г. тенденция на понижение или на повышение очень минимальна.

По данным годовых сумм осадков был построен хронологический график (рис. 6).

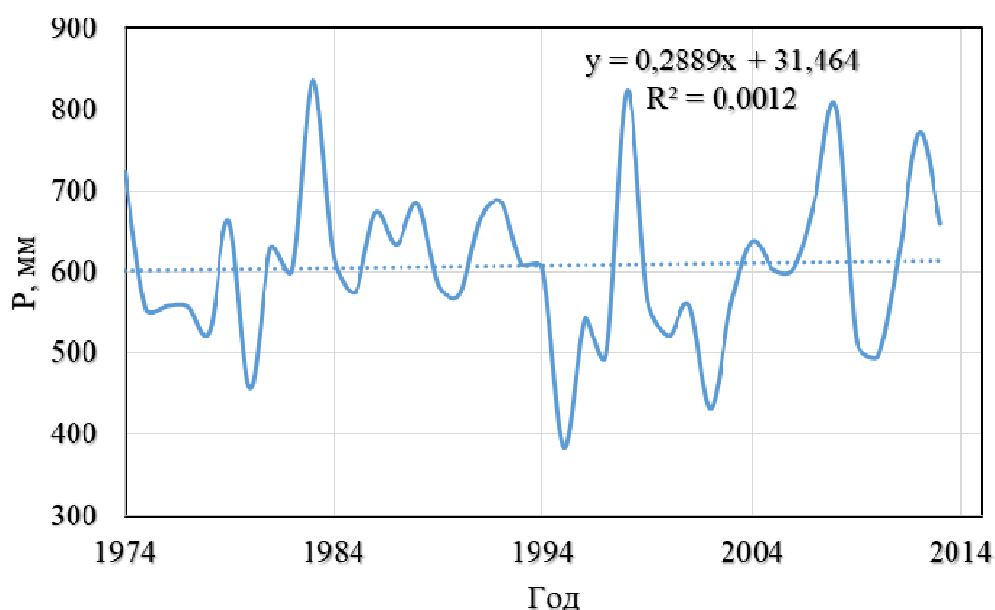


Рисунок 6. Хронологический график годовых сумм осадков

По графику годовых сумм осадков прослеживается небольшая тенденция на увеличение. В 1995 г. наблюдается минимальное значение осадков 384 мм.

В ряду годовых сумм осадков статистически значимый линейный тренд при уровне значимости 5% отсутствует (табл. 4).

Таблица 4. Оценка значимости линейного тренда

	n	R^2	R	σ_r	R/σ_r	$t_{2a}=5\%$	$H_0:R=0$	Значимость тренда
P, мм	40	0,0012	0,03	0,16	0,21	2,02	не опр.	тренд не значим

В результате проверка на однородность по критерию Стьюдента ряд годовых сумм осадков оказался однородным, а по критерию Фишера неоднородным за счет большой амплитуды колебаний (табл. 5).

Таблица 5. Проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера

	$ t^* $	$t_{2\alpha\%}$	$H_0: x_1=x_2$	F^*	$F_{2\alpha\%}$	$H_0: D_1=D_2$
P, мм	0,82	2,02	не опр.	0,50	0,46	опр.

Была построена разностно-интегральная кривая (рис. 7).

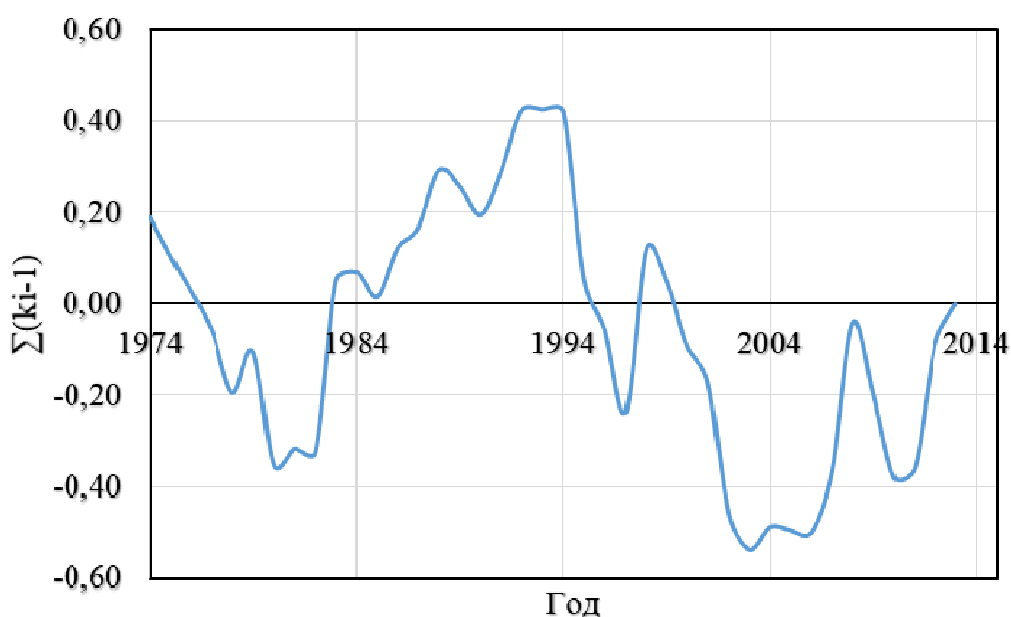


Рисунок 7. Разностно-интегральная кривая годовых сумм осадков

В результате на графике выделяются периоды чередования уменьшения и увеличения осадков.

В качестве метеорологических параметров для анализа изменения климата были взяты данные наблюдений за средней годовой температурой воздуха и годовыми суммами осадков по метеостанции Реболы с 1974 г. по 2013 г. В результате установлено, что наблюдается тенденция на увеличение значений средних годовых температур воздуха и годовых сумм осадков. В 1995 г. отмечается наименьшая температура воздуха и наименьшее количество осадков. При оценке значимости линейного тренда в ряду среднегодовых температур воздуха был выявлен статистически значимый линейный тренд. В результате проверки на однородность по критерию

Стьюдента ряды являются однородными. Были построены разностно-интегральные кривые. Ряд среднегодовых температур воздуха был разбит на два периода – с 1974 г. по 1995 г., где установлена тенденция на понижение значений и с 1996 г. по 2013 г., где тенденция очень минимальна. На разностно-интегральной кривой для ряда годовых сумм осадков наблюдается чередование периодов уменьшения и увеличения значений.

5 Анализ уровня режима озера Лендерское

В качестве исходных данных использовались ряды средних годовых, максимальных и минимальных уровней воды за период наблюдений с 1975 г. по 2017 г. по гидрологическому посту п. Лендеры.

Для анализа уровня режима озера Лендерское и выявления статистически значимого линейного тренда был построен хронологический график хода средних годовых значений уровня воды (рис. 8).

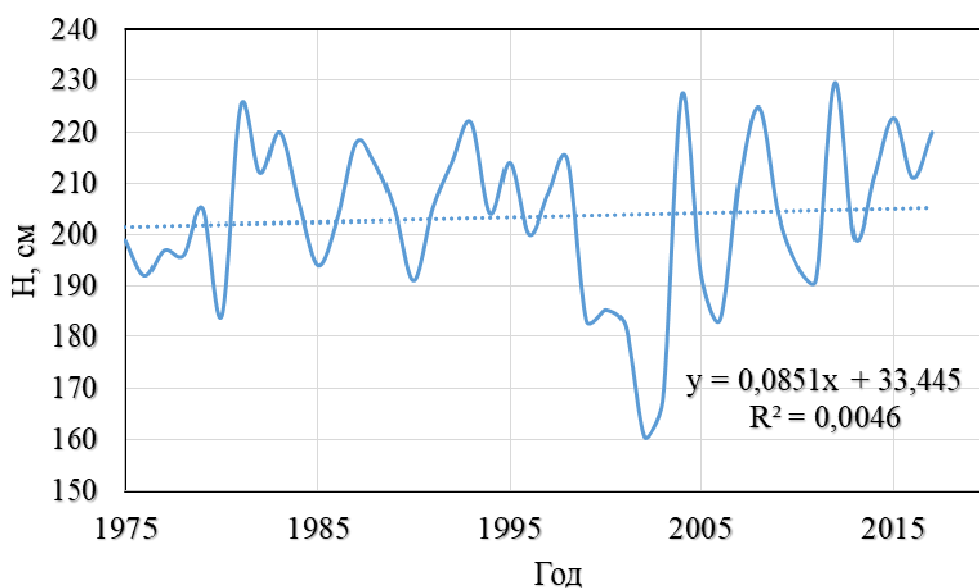


Рисунок 8. Хронологический график среднегодовых уровней воды

На хронологическом графике наблюдается тенденция на увеличение средних годовых уровней воды. В 2002 г. отмечается наименьший среднегодовой уровень воды 160 см.

В ряду среднегодовых уровней воды статистически значимый линейный тренд при уровне значимости 5 % отсутствует (табл. 6).

Таблица 6. Оценка значимости линейного тренда

	n	R ²	R	σ _r	R/σ _r	t _{2α} =5%	H ₀ : R=0	Значимость тренда
H _{ср} , см	43	0,0046	0,07	0,16	0,44	2,02	не опр.	тренд не значим

При проверке ряда данных на однородность по критериям Стьюдента и Фишера гипотеза об однородности не опровергается (табл. 7).

Таблица 7. Проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера

	$ t^* $	$t_{2\alpha\%}$	$H_0: x_1=x_2$	F^*	$F_{2\alpha\%}$	$H_0: D_1=D_2$
$H_{cp}, \text{ см}$	0,91	2,02	не опр.	0,31	0,48	не опр.

Была построена разностно-интегральная кривая (рис. 9).

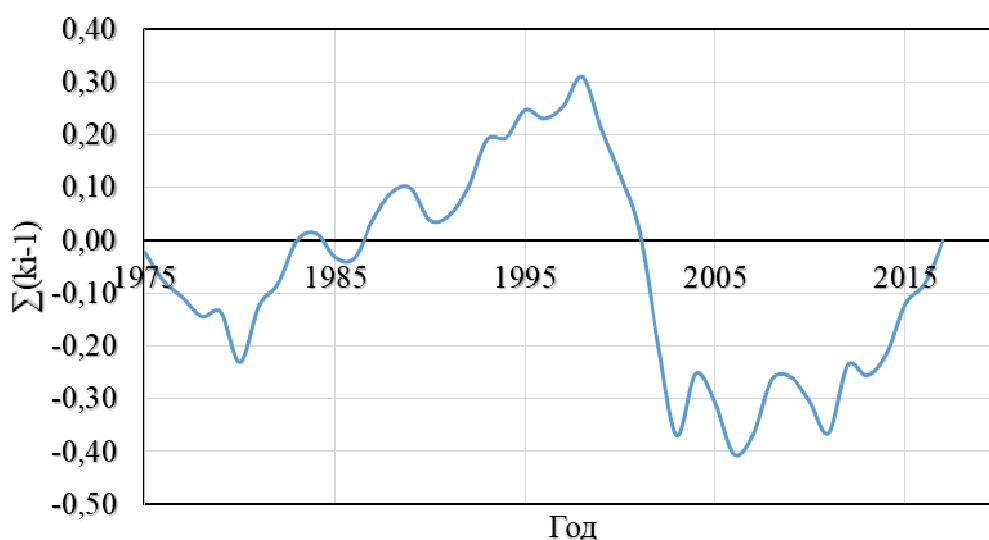


Рисунок 9. Разностно-интегральная кривая среднегодовых уровней воды

На графике видно, что после 1998 г. наблюдаются резкое понижение значений среднегодовых уровней воды.

Был построен хронологический график минимальных уровней воды (рис. 10).

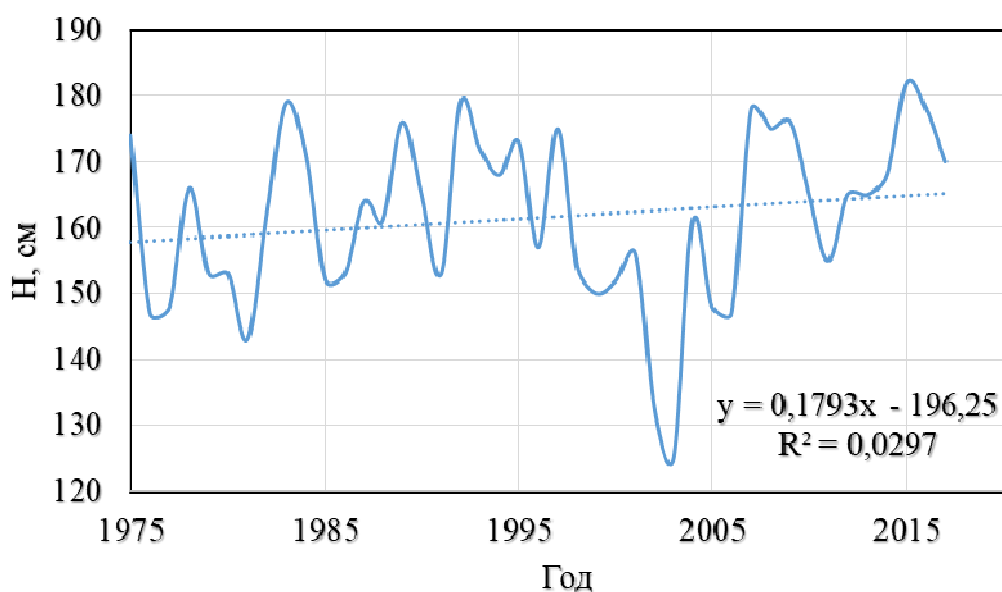


Рисунок 10. Хронологический график минимальных уровней воды

В многолетнем разрезе наблюдается тенденция на повышение минимальных уровней воды. В 2003 г. отмечается наименьшее значение минимальных уровней воды, которое составляет 125 см.

В исследуемом ряде минимальных уровней воды статистически значимый тренд при уровне значимости 5 % отсутствует (табл. 8).

Таблица 8. Оценка значимости линейного тренда

	n	R^2	R	σ_r	R/σ_r	$t_{2a}=5\%$	$H_0: R=0$	Значимость тренда
$H_{\min}$, см	43	0,0297	0,17	0,15	1,12	2,02	не опр.	тренд не значим

При проверке ряда на однородность по критерию Стьюдента ряд минимальных уровней воды является однородным, а по критерию Фишера установлено, что ряд неоднороден (табл. 9).

Таблица 9. Проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера

	$ t^* $	$t_{2a\%}$	$H_0: x_1=x_2$	F^*	$F_{2a\%}$	$H_0: D_1=D_2$
$H_{\min}$, см	0,35	2,02	не опр.	0,52	0,48	опр.

Была построена разностно-интегральная кривая (рис. 11).

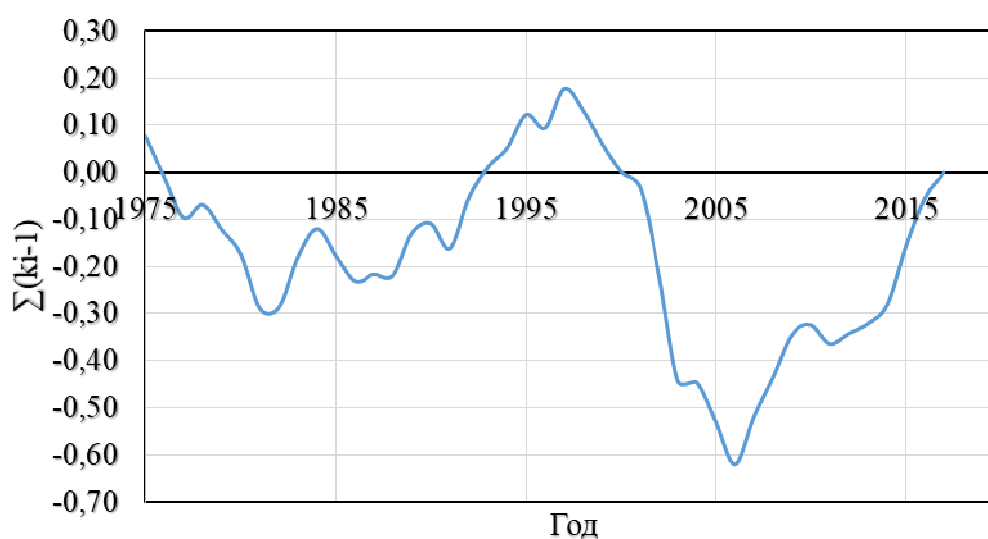


Рисунок 11. Разностно-интегральная кривая минимальных уровней воды

На графике видно, что выделяются периоды понижения и повышения уровней воды.

Был построен хронологический график хода для ряда максимальных уровней воды (рис. 12).

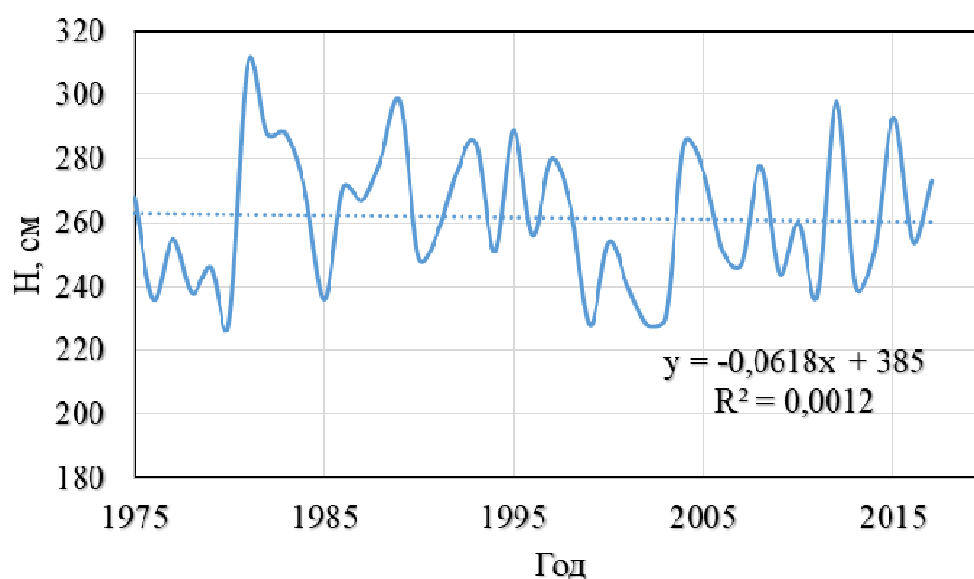


Рисунок 12. Хронологический график максимальных уровней воды

На графике наблюдается тенденция на понижение значений максимальных уровней воды. В 1981 г. явно выражен наибольший максимальный уровень воды, составляющий 310 см.

Для ряда максимальный уровень воды статистически линейный тренд при уровне значимости 5 % отсутствует (табл. 10).

Таблица 10. Оценка значимости линейного тренда

	n	R^2	R	σ_r	R/σ_r	$t_{2a}=5\%$	$H_0: R=0$	Значимость тренда
$H_{\max}$, см	43	0,0012	0,03	0,16	0,22	2,02	не опр.	тренд не значим

При проверке на однородность ряд максимальных уровней воды по критериям Стьюдента и Фишера однороден (табл. 11).

Таблица 11. Проверка однородности рядов по критериям Стьюдента и Фишера

	$ t^* $	$t_{2a\%}$	$H_0: x_1=x_2$	F^*	$F_{2a\%}$	$H_0: D_1=D_2$
$H_{\max}$, см	1,18	2,02	не опр.	1,08	2,11	не опр.

Была построена разностно-интегральная кривая (рис. 13).

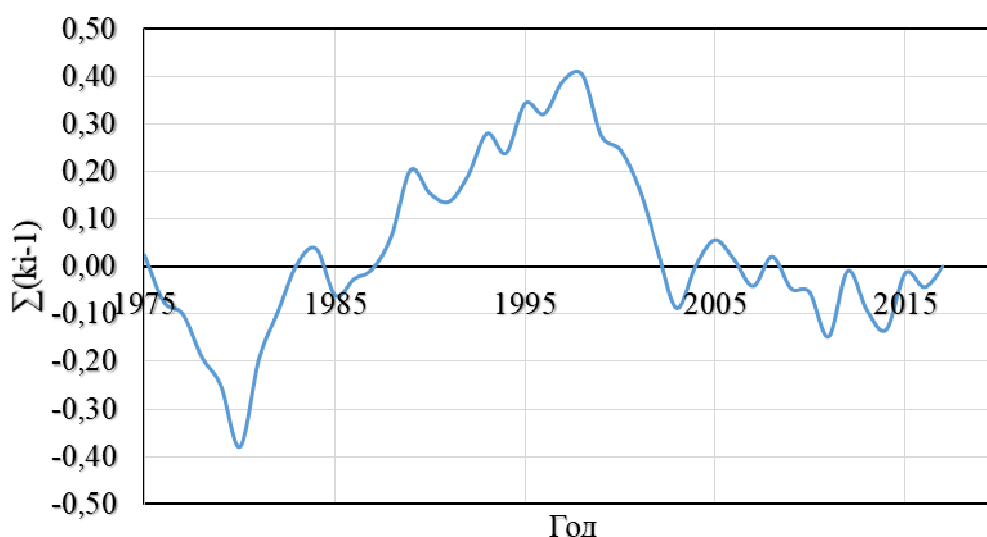


Рисунок 4. Разностно-интегральная кривая максимальных уровней воды

С 1980 г. по 1998 г. наблюдается повышение уровней воды, а после 1998 г. понижение.

При выполнении расчетов во время инженерных изысканий часто стоит задача расчета максимальных уровней воды различной обеспеченности. При отсутствии данных наблюдений, согласно СП 33-101-2003, применяется метод аналогии.

Для определения уровней воды заданной обеспеченности используются аналитические кривые обеспеченностей. Они позволяют сгладить эмпирические кривые и провести экстраполяцию в область больших и малых обеспеченностей.

Эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей строят на клетчатках вероятностей (рис. 14). В работе для построения эмпирической кривой обеспеченностей была использована программа «StokStat».

Для построения эмпирической кривой обеспеченностей значения исходного ряда ранжируются, то есть располагаются в убывающем порядке. Затем для каждого члена ранжированного ряда рассчитывается эмпирическая обеспеченность по формуле:

$$P_{\%} = \frac{m}{n + 1} * 100\% \quad (4)$$

где m – порядковый номер каждого члена ряда, n – длина ряда.

В качестве аналитических кривых в России наиболее часто используются трехпараметрические кривые обеспеченностей Крицкого-Менкеля и Пирсона III типа.

Кривая распределения вероятностей Пирсона III типа имеет один существенный недостаток: при $C_s/C_v < 2$ она уходит в область отрицательных значений. Исходя из этого, в работе была использована аналитическая кривая обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

Кривая Крицкого-Менкеля является одномодальной с положительной асимметрией. Нижним ее пределом всегда является ноль. Верхним пределом она не ограничена.

Так как кривая Крицкого-Менкеля является трехпараметрической, то для ее построения необходимо знать среднее значение, коэффициент вариации C_v и соотношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v . Для ряда максимальных уровней воды $H_{cp}=262$ см, $C_v=0,08$ и $C_s/C_v=2,71$.

Оценка параметра распределения некоторой случайной величины, полученная по выборке тем или иным методом, сама представляет собой случайную величину, обладающую определенным разбросом. Имеется в виду, что можно получить сколько угодно выборок объемом n из одной и той же генеральной совокупности, и все, они будут давать различные значения оцениваемого параметра. Поэтому точечная оценка параметра распределения G в виде конкретного значения G^* не дает полного представления об искомом параметре без оценки погрешности ее вычисления. Мерой случайной погрешности для выборочного параметра может служить

среднеквадратическое отклонение σ_G (абсолютная погрешность) или относительное среднеквадратическое отклонение $\varepsilon_G = \frac{\sigma_G}{G} * 100 \%$ (относительная погрешность). Формулы для расчета погрешностей зависят от того, каким методом производилась оценка параметра. В работе использовался метод наибольшего правдоподобия.

Расчет параметров распределения выполнен надежно, если погрешность среднего значения не превышает 10 %, а погрешность коэффициента вариации 15 %.

Абсолютная погрешность среднего значения определялась по формуле:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 3,35 \quad (5)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение выборки, n – длина ряда.

Относительная погрешность среднего значения:

$$\varepsilon_{\bar{x}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} * 100 \% = 1,28 \quad (6)$$

Абсолютная погрешность коэффициента асимметрии рассчитывалась по формуле:

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n} * (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} = 0,38 \quad (7)$$

Относительная погрешность коэффициента асимметрии:

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} * \sqrt{\frac{6}{n} * (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} * 100 \% = 167,7 \quad (8)$$

Абсолютная погрешность коэффициента вариации:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{\sqrt{2n}} * \sqrt{\frac{3}{3 + C_v^2}} = 0,01 \quad (9)$$

Относительная погрешность коэффициента вариации:

$$\varepsilon_{C_v} = \sqrt{\frac{3}{2n(3 + C_v^2)}} * 100 \% = 10,8 \quad (10)$$

[7]



Рисунок 14. Эмпирическая кривая и аналитическая кривая Крицкого-Менкеля максимальных уровней воды

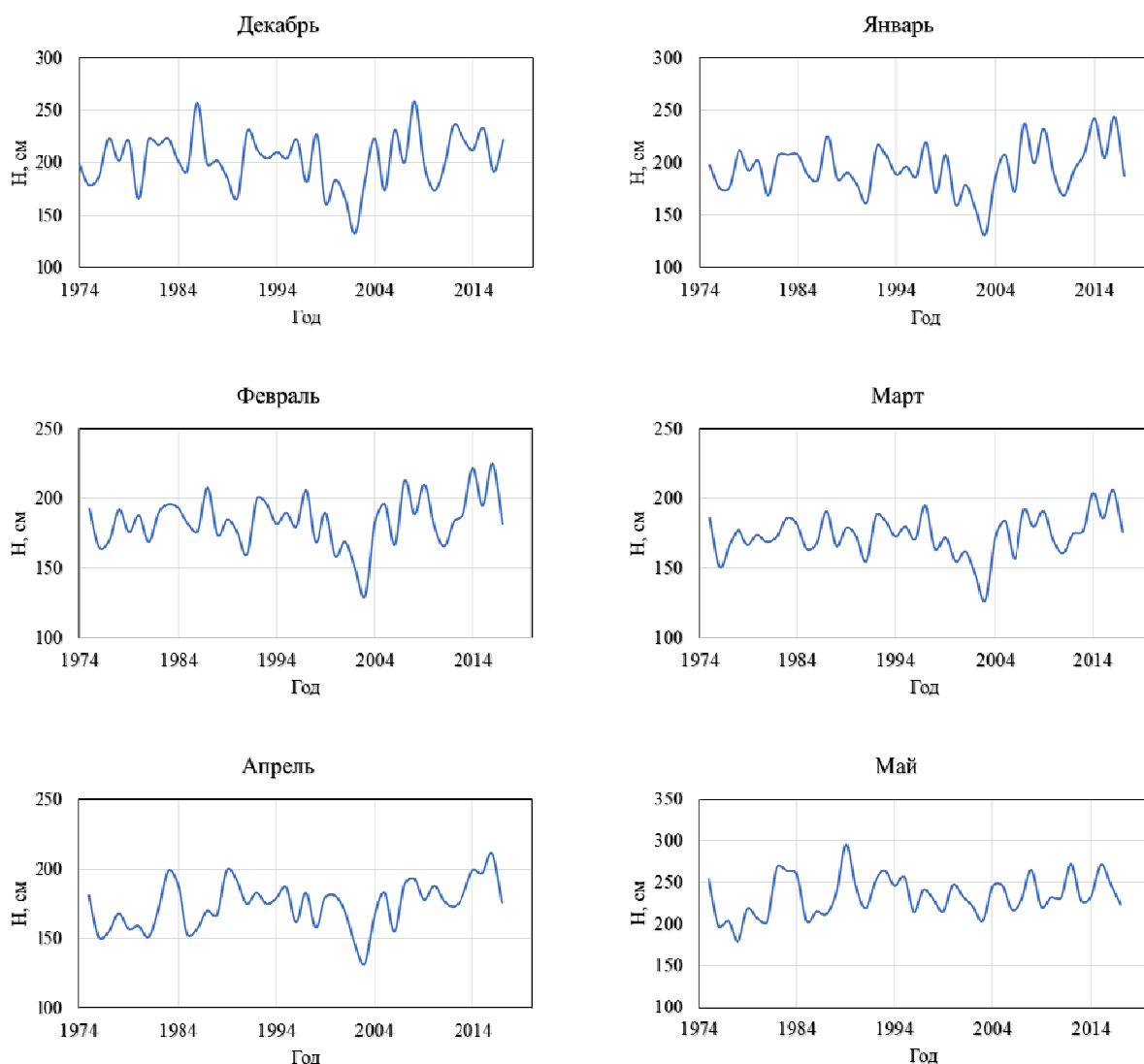
Для ряда максимальных уровней воды были рассчитаны значения уровня воды 1, 3, 5, 10 – %-ной обеспеченности и переведены в метры Балтийской системы (табл. 12).

Таблица 12. Значения уровня воды 1, 3, 5, 10 – %-ной обеспеченности

P, %	1	3	5	10
кр	1,25	1,2	1,17	1,13
H _{max} , см	327	314	306	296
H _{max} , м БС	148,3	148,2	148,1	148,0

Полученные значения максимальных уровней воды в метрах Балтийской системы в дальнейшем можно использовать в расчетах.

Для более полного анализа уровня режима озера Лендерское были построены хронологические графики среднемесячных уровней воды (рис. 15).



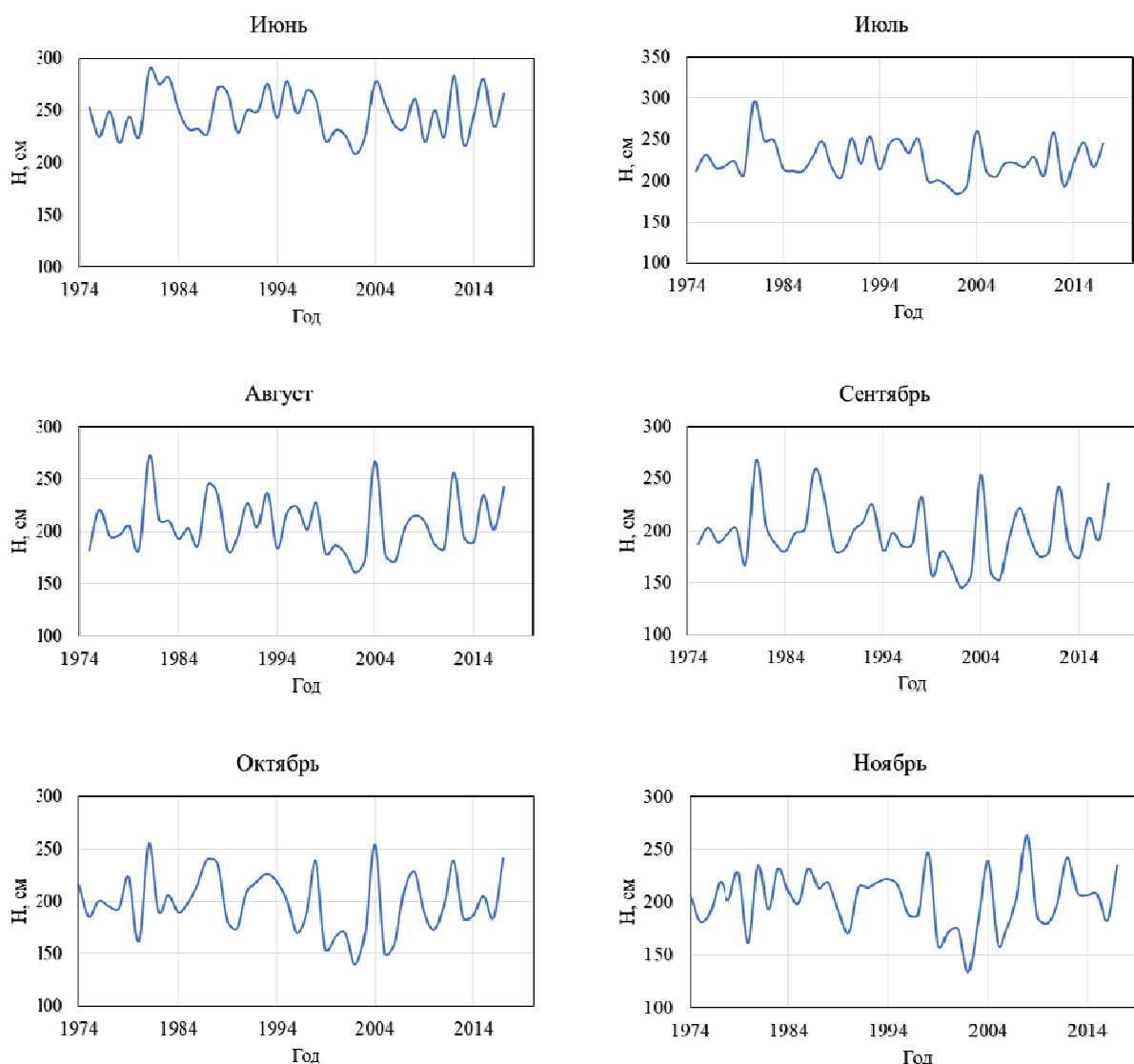


Рисунок 15. Хронологические графики среднеемесячных уровней воды

Для анализа уровня режима озера Лендерское были взяты данные средних годовых, максимальных и минимальных уровней воды по гидрологическому посту п. Лендеры за период наблюдений с 1974 г. по 2017 г.

В результате работы установлено, что в многолетнем разрезе наблюдается тенденция на увеличение значений средних годовых и минимальных уровней, а в ряде максимальных уровней воды отмечена тенденция на понижение. Также были построены хронологические графики среднеемесячных уровней воды для каждого месяца.

В период с 2000 по 2004 годы на озере отмечается маловодный период. Это связано с тем, что в эти годы сохранялся дефицит осадков при повышенном температурном фоне, что привело к засухе. На хронологических графиках средних температур воздуха и сумм осадков (рис. 3, 6) видно резкое уменьшение осадков на фоне высокой средней температуры воздуха. Также это связано с тем, что с декабря по апрель наблюдался период зимней межени. После 2004 г. наблюдается восполнение запасов воды в озере и отмечается тенденция на рост уровней воды. С мая по август отмечается период половодья.

Во всех исследуемых рядах наблюдений статистически значимые линейные тренды при уровне значимости 5% отсутствуют.

Проверка рядов на однородность оценивалась по критериям Стьюдента и Фишера. Установлено, что ряд минимальных уровней являются неоднородными по критерию Фишера за счет большой амплитуды колебаний.

Также были построены разностно-интегральные кривые, на которых выделяются периоды повышения и понижения уровней воды. На всех графиках после 1998 г. наблюдается резкое понижение уровней воды.

Для ряда максимальных уровней воды были построены эмпирическая кривая обеспеченностей и аналитическая кривая обеспеченностей Крицкого-Менкеля.

Затем были рассчитаны максимальные уровни воды 1,3,5 и 10 %-ной обеспеченности и переведены в метры Балтийской системы, которые в дальнейшем можно использовать в расчетах.

Заключение

В результате работы ознакомились с озером Лендерское и провели анализ уровня режима.

В рядах среднегодовой температуры воздуха и годовых сумм осадков выявлена тенденция на повышение и статистически значимые тренды при уровне значимости 5 % отсутствуют.

Для анализа уровня режима были взяты данные наблюдений за среднегодовыми, максимальными и минимальными уровнями воды. В многолетнем разрезе наблюдается тенденция на повышение среднегодовых и минимальных уровней воды, а в ряде максимальных уровней отмечена тенденция на понижение. Во всех рядах статистически значимые тренды при уровне значимости 5 % отсутствуют.

Из-за резкого понижения количества осадков и высокой температуры воздуха с 2000 г. по 2004 г. на озере отмечается маловодный период. Также на это повлияли маленькие уровни воды в период зимней межени. После 2004 г. произошло восполнение запасов воды в озере.

Были получены отметки максимальных уровней воды 1,3,5 и 10 %-ной обеспеченности и переведены в метры Балтийской системы. Теперь их можно использовать в расчетах.

Список использованных источников

1. Н.В. Мякишева, Е.В. Давыденко, Д.А. Орлов Разномасштабная изменчивость уровня воды в озерах России. Арктический регион. Умбозеро // Успехи современного естествознания № 12 (часть 1) 2021, стр. 166-172.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР, Т. 2 ч. 1 Карелия и Северо-Запад: под ред. В.Е. Водогрецкого
3. Муезерский район Республики Карелии [Электронный ресурс], Режим доступа: <https://russiaregions.ru/respublikakareliya/mueserskiy/>
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов Карелии бассейна Балтийского моря (Российская часть бассейнов), книга 1 [Электронный ресурс], Режим доступа: <http://www.nord-west-water.ru/upload/docs/skiovo/skiovo-karelia-book-1.pdf>
5. Озера Карелии [Электронный ресурс]: справочник / ВОО "Рус. геогр. о-во", отд-ние РГО в Респ. Карелии, Ин-т вод. проблем Севера КарНЦ РАН. - Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2013 (2015). - 463 с., [4] л. цв. ил.
6. Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов [Электронный ресурс] / Рекомендации по расчету – Санкт-Петербург, ФГБУ «ГГИ», 2017, Режим доступа: http://www.hydrology.ru/sites/default/files/Books/a5_2017-sto_ggi_52.08.41_180917.pdf
7. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации [Электронный ресурс] В. С. Дружинин, А. В. Сикан; под редакцией А. М. Владимирова – Санкт-Петербург, 2001, Режим доступа: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417151342.pdf