



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 озер Малое
Бутырино и Альменьколь**
(Курганская область)

Исполнитель **Сергеева Виктория Анатольевна**
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

Консультант
(ученая степень, ученое звание)

Давыденко Екатерина Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой


(подпись)

ДОЦЕНТ

(ученая степень, ученое звание)

Исаев Дмитрий Игоревич
(фамилия, имя, отчество)

«13» июня 2022г.

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

Введение	3
1 Физико-географическое описание исследуемой территории	5
1.1 Климат.....	5
1.2 Гидрография.....	5
1.3 Описание озёр.....	6
1.4 Геологическое строение и рельеф	8
1.5 Почвенный покров	8
1.6 Растительность	9
2 Гидрометеорологическая изученность.....	10
3 Результаты расчетов.....	13
4 Построение и анализ разностно-интегральных кривых	28
5 Сравнительный анализ озер Малое Бутырино и Альменьколь	37
Заключение.....	39
Список используемой литературы	41

Введение

Самым простым значением термина «озеро» является определение его как замкнутого углубления суши, которое заполнено водой. Оно не имеет непосредственной связи с океаном, соответственное его можно назвать водоёмом замедленного водообмена. Особенность озер заключается в их высокой инерционности.

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

Существует зависимость между уровнем воды и климатическими факторами. Уровенный режим озер является интегральным показателем состояния изменчивости их водного баланса. Водообмен зависит от изменения объема озера, который в свою очередь зависит от амплитуды колебания уровня водоема, так как приход воды находится в сильной зависимости от атмосферных осадков и от таяния снегов. Особенно чувствительны к изменениям климата солёные озера. Анализ всей информации, наблюдение за изменениями и нахождение их причин - это то, почему данная тема актуальна для нас.

Целью работы является изучение уровенного режима озёр Курганской области, на примере озёр Малое Бутырино и Альменьколь.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. подобрать гидрологические и метеорологические посты в районе наблюдения;
2. построить хронологические графики по уровням, осадкам и температуре;
3. построить разностно-интегральные кривые и интегральные кривые по уровням, температуре и осадкам;

4. проанализировать максимальные и минимальные уровни;
5. сравнить озёра Малое Бутырино и Альменьколь в целом, а также их режимы.

1 Физико-географическое описание исследуемой территории

1.1 Климат

Расположение Курганской области в глубине огромного континента определяет её климат как континентальный. Она удалена от теплых морей Атлантического океана, отгорожена с запада Уральским хребтом, находится близко от центра материка, совершенно открыта с северной стороны и очень мало защищена с юга. Самым холодным месяцем является январь (в среднем -18°), самым теплым — июль ($+19^{\circ}$).

Годовая амплитуда между самой низкой и самой высокой температурами в области отмечена в 1943 году (в январе -50° , в июле $+41^{\circ}$), а в июле 2012 года, около $+50^{\circ}$. Среднегодовое количество осадков по области составляет 300—400 мм, но значительно колеблется по отдельным годам. Минимальное количество осадков выпало в 1952 году (182 мм).

1.2 Гидрография

Почти вся территория области расположена в бассейне реки Тобол. Подавляющее большинство озер имеет незначительные размеры, с площадью зеркала менее 1 км².

Озера рассматриваемой территории крайне неодинаковы по глубине, однако преобладают водоемы со средней глубиной от 0.5 до 3 м. В связи с небольшими размерами котловин объем воды в озерах, как правило, невелики.

Образование многих озерных котловин связано с новейшими тектоническими движениями.

Озерам Притобольской равнины свойственны резкие колебания уровня. Во влажные периоды года озера сильно разливаются и иногда соединяются между собой. Даже незначительный подъем уровня приводит к сильному увеличению их площади.[9]

1.3 Описание озёр

Озеро Малое Бутырино

Водоем расположен в бессточной области Тобол-Ишимского междуречья (бассейн реки Иртыш, подбассейн реки Тобол). Озера Большое и Малое Бутырино, расположенные в Частоозерском районе Курганской области, отделены дамбой. В настоящий момент площадь водосбора озера не определена. Озеро Малое Бутырино является бессточным водоём с соленой водой. Питание озера получают в основном из атмосферных осадков, хотя есть данные и о существовании подземного питания. Высота над уровнем моря составляет 130 м БС. Длина озера составляет 3 км, наибольшая ширина 2,7 км, наибольшая глубина 3,8 м. Озерная ванна оз. М. Бутырино имеет форму блюдца с преобладающими глубинами 2-3 м. Дно озера песчано-илистое. Водосбор озер представляет собой эрозионно-абразивную равнину с небольшими возвышенностями. Вся территория почти сплошь покрыта лесами. В XX в. наблюдались случаи частичного и даже полного усыхания озера. Цвет воды озера Малое Бутырино зимой зеленовато-желтоватый, летом становится зеленым от массы развивающегося фитопланктона. Озеро Малое Бутырино – типичный хлоридно-натриевый водоём. Прозрачность воды озера имеет тенденцию к снижению. [1].

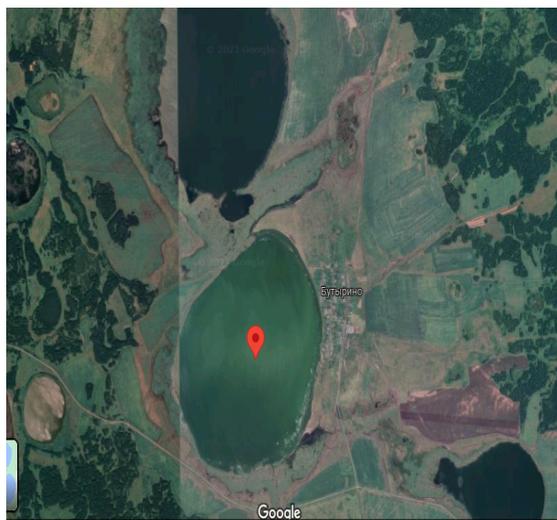


Рисунок 1 – Озеро Малое Бутырино на карте

Озеро Альменьколь

Водоем принадлежит к бассейну реки Иртыш, подбассейну реки Тобол. Площадь водосбора составляет 6,5 км². Озеро Альменьколь находится на высоте 171,6 м БС над уровнем моря равняется. Котловина озера эрозионно-тектонического происхождения. Из озера Альменьколь вытекает река Куртамыш. Его длина составляет 3,8 км наибольшая ширина 2,9 км, а наибольшая глубина 3,4 м. Озеро горько-соленое.[8]

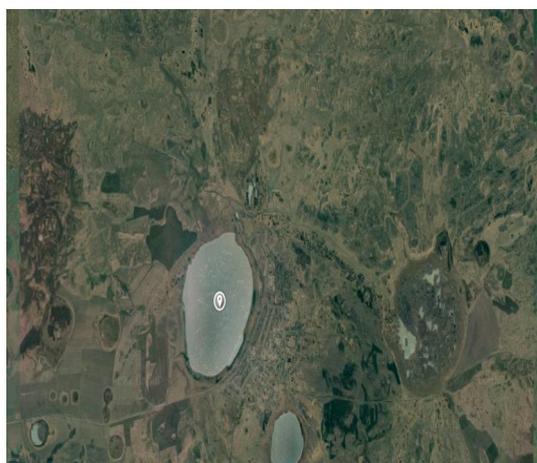


Рисунок 2 – Озеро Альменьколь на карте

1.4 Геологическое строение и рельеф

Курганская область является частью Евразийской континентальной плиты и расположена в Тургайском прогибе Урало-монгольского складчатого пояса, представленного молодой эоказой платформой. Отложения рыхлой мезозойской толщи и палеоцена палеогенной системы в естественных отложениях на территории области практически не вскрываются.

Рельеф области равнинный, со слабым наклоном на северо-восток (абсолютные высоты от 57 до 206 метров). Местность изобилует множеством котловин, придающих неповторимый облик краю.

Озеро Малое Бутырино имеет низменные берега, рельеф окружающей местности плоский, местами бугристый. Распространены четвертичные современные отложения песков и глин. Озеро Альменьколь имеет илистое дно с песком и камнями.[3]

1.5 Почвенный покров

На севере в пределах лесной зоны преобладают подзолистые, подзолисто-болотные и торфяно-болотные почвы на древнеаллювиальных отложениях. По механическому составу эти почвы, также как и почвы всех низменности, большей частью тяжелосуглинистые и глинистые.

В лесостепной зоне в приречных зонах располагаются оподзоленные и выщелоченные черноземы и серые почвы. По механическому составу почвы тяжелосуглинистые и глинистые.[9]

1.6 Растительность

Естественный растительный покров во многих местах нарушен хозяйственной деятельностью человека. Пашнями заняты большие площади в зоне лесостепи, а также в западной части лесной зоны.

В северной части района преобладают сосновые леса. В низинах встречаются еловые леса с примесью кедра, сфагновые болота, часто облесенные, массивы березняков.

По направлению к югу леса разрежаются, приобретая вид парковых; начинается лесостепь с разнообразными растительными группировками. Основной фон естественной растительности составляют луговые степи и остепненные лега со множеством пресных и соленых озер, с березовыми колками, рассеянными по блюдцам и западинам. На приречных песках и выходах гранитов встречаются массивы сосновых боров. Как на месте лиственных лесов, так и в районах луговых степей основные площади зоны лесостепи распаханы.[9]

2 Гидрометеорологическая изученность

Рассматриваемая территория расположена вблизис Тобол-Ишимского междуречья. На рисунке 3 показана схема гидрометеорологической изученности исследуемого района.

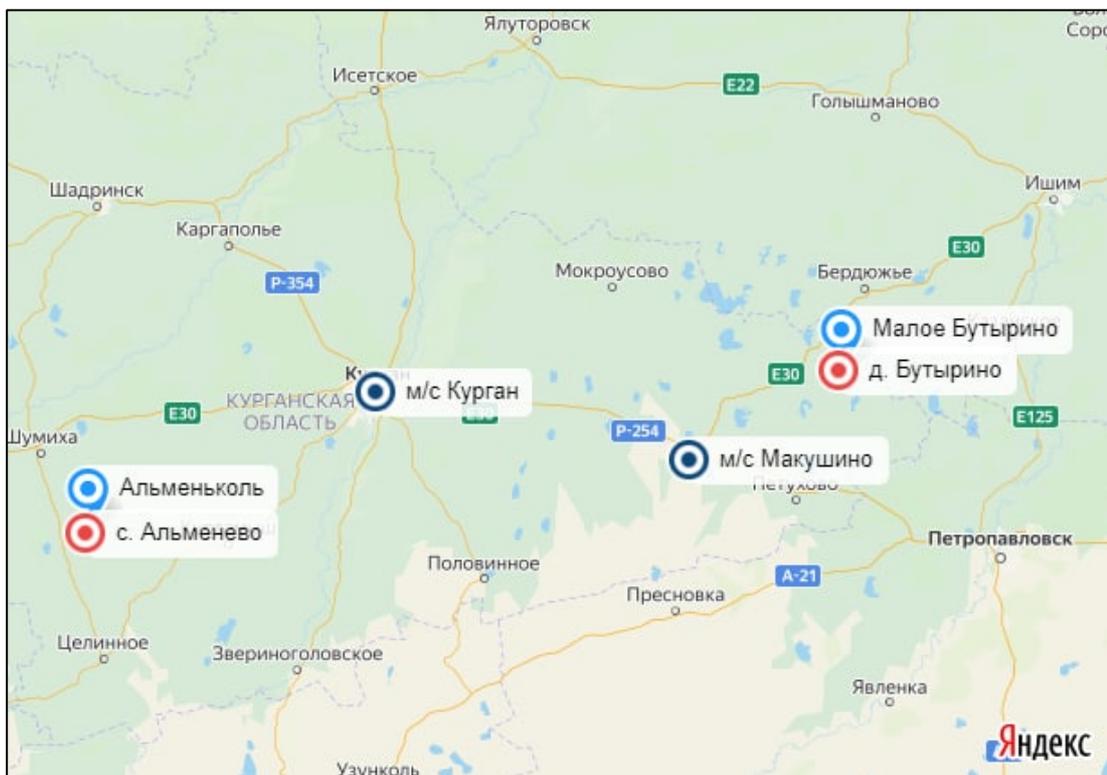


Рисунок 3 – Схема гидрометеорологической изученности

В гидрологическом отношении территория изысканий мало изучена. Пункты регулярных наблюдений находятся на озерах Малое Бутырино и Альменьколь. Наблюдения ведутся с 1959 и 1963 года.

Метеорологические наблюдения ведутся с начала 20 века сетью метеорологических станций. Ближайшими метеостанциями являются Макушино, Курган. Данные наблюдений опубликованы в метеорологических ежемесячниках и климатических справочниках. Основные сведения о метеостанции представлены в таблице (Таблица 2)

Таблица 1 - Основные сведения об исследуемых озерах

№ п/п	Озеро-пост	Период Наблюдений	Площадь озера, км ²	Площадь водосбора, км ²	Удельный водосбор
1	Малое Бутырино-д. Бутырино	1960-2016	6,00	н/о	н/о
2	Альменьколь- с. Альменево	1964-2016	5,92	83,5	14,1

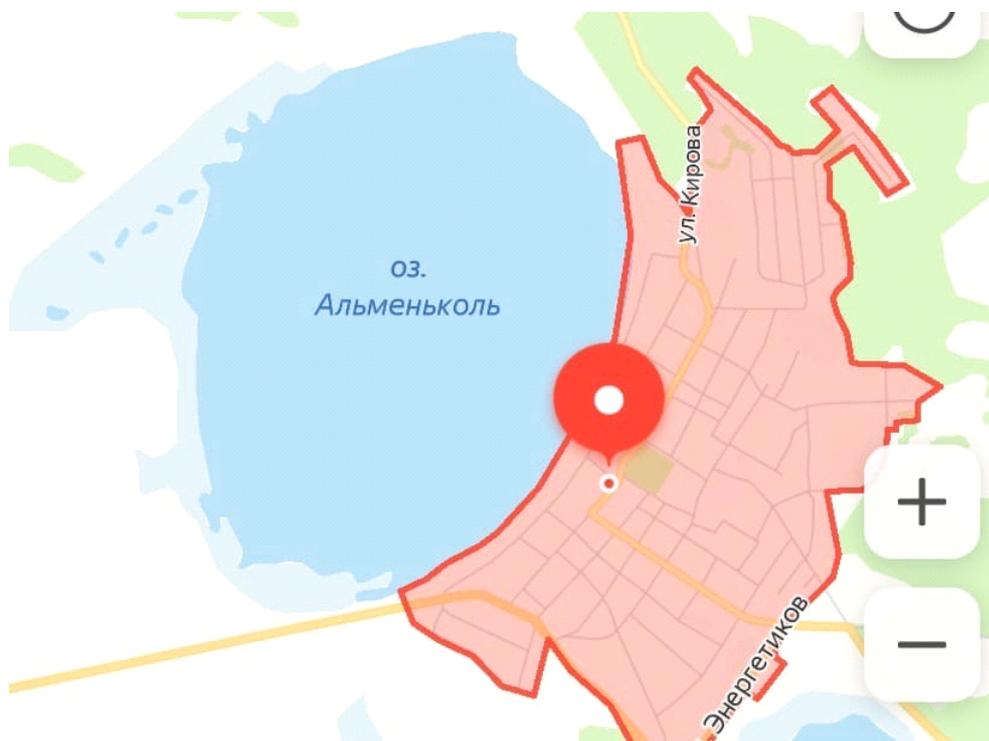


Рисунок 4 – Село Альменево на карте



Рисунок 5 – Деревня Бутырино на карте

Для озера Малое Бутырино подобрана метеостанция Макушино, находящаяся в 66 км от озера. Для озера Альменьколь подобрана метеостанция Курган, находящаяся в 124 км от озера.

Таблица 2 – Основные сведения о метеостанциях

№ п/п	Индекс ВМО	Название метеостанции	Период наблюдений		Высота станции, м БС
			температура	осадки	
1	28666	Макушино	1960-2016	1966-2016	140
2	28661	Курган	1962-2016	1966-2016	74,0

3 Результаты расчетов

Для анализа многолетней изменчивости уровня воды в озерах были построены хронологические графики хода средних годовых, максимальных и минимальных уровней озер (рис. 6, 9, 12-15).

На полученных графиках ярко выражено наличие трендов. Оценка статистической значимости линейного тренда оценивалась с помощью статистики Стьюдента.

$$\frac{|R|}{\sigma_R} < t_{2\alpha} \quad (1)$$

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

где n – длина ряда; R – коэффициент корреляции; σ_R – средние квадратичное отклонения коэффициента корреляции; $t_{2\alpha}$ – статистика Стьюдента при уровне значимости $2\alpha=5\%$.

При выполнении условия (1), условие значимости не опровергается, следовательно, тренд считается статистически незначимым. Если же условие значимости опровергается, то тренд считается статистически значимым.

Результаты проверки линейных трендов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Проверка значимости линейного тренда

Характеристика	R^2	R	σ_R	$ R /\sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	Значимость тренда
Средние годовые уровни оз. М.Бутырино	0,06	0,24	0,13	1,82	2,00	$t_{2\alpha=5\%} > R /\sigma_R$ (тренд незначим)

Характеристика	R^2	R	σ_R	$ R /\sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	Значимость тренда
Средние годовые уровни оз. Альменьколь	0,02	1,55	0,14	1,11	2,01	$t_{2\alpha=5\%} > R /\sigma_R$ (тренд незначим)
Осадки по данным м/с Макушино	0,003	0,06	0,14	0,38	2,01	$t_{2\alpha=5\%} > R /\sigma_R$ (тренд незначим)
Осадки по данным м/с Курган	0,28	0,53	0,12	4,29	2,01	$t_{2\alpha=5\%} < R /\sigma_R$ (тренд значим)
Температура по данным м/с Макушино	0,18	0,42	0,12	3,41	2,01	$t_{2\alpha=5\%} < R /\sigma_R$ (тренд значим)
Температура по данным м/с Курган	0,18	0,42	0,13	3,35	2,01	$t_{2\alpha=5\%} < R /\sigma_R$ (тренд значим)

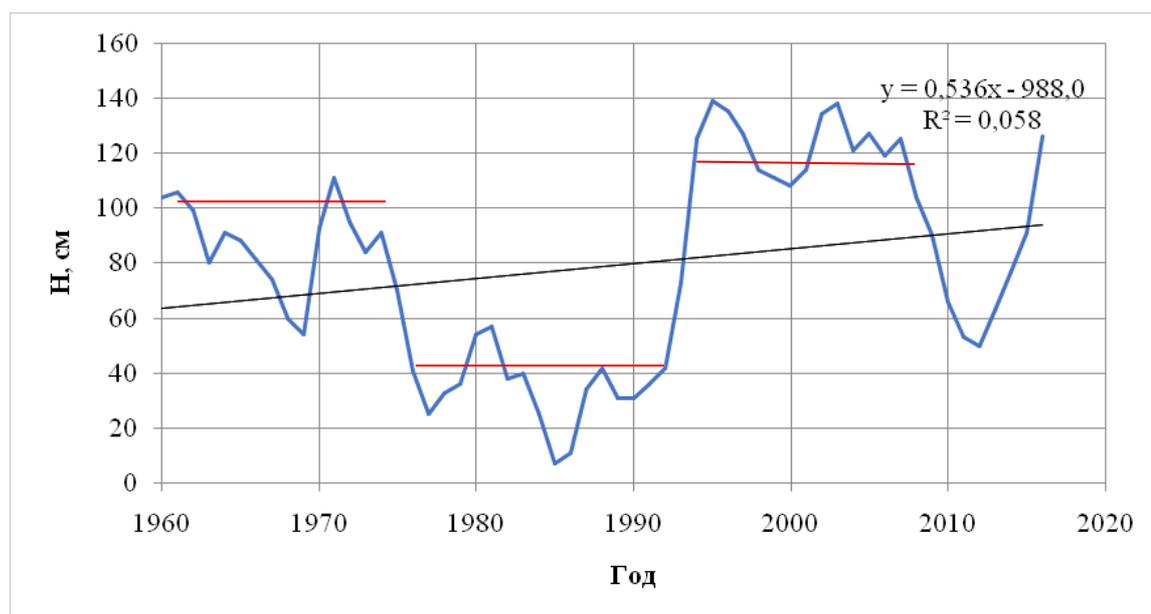


Рисунок 6 – Хронологический график хода средних годовых уровней воды озера Малое Бутырино

На озере Малое Бутырино наблюдается статистически незначимый тренд на повышение (рис. 6). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 5 см за 10 лет.

Для уточнения дат изменения уровня режима были построены разностно-интегральная и суммарные кривые (рис. 7).

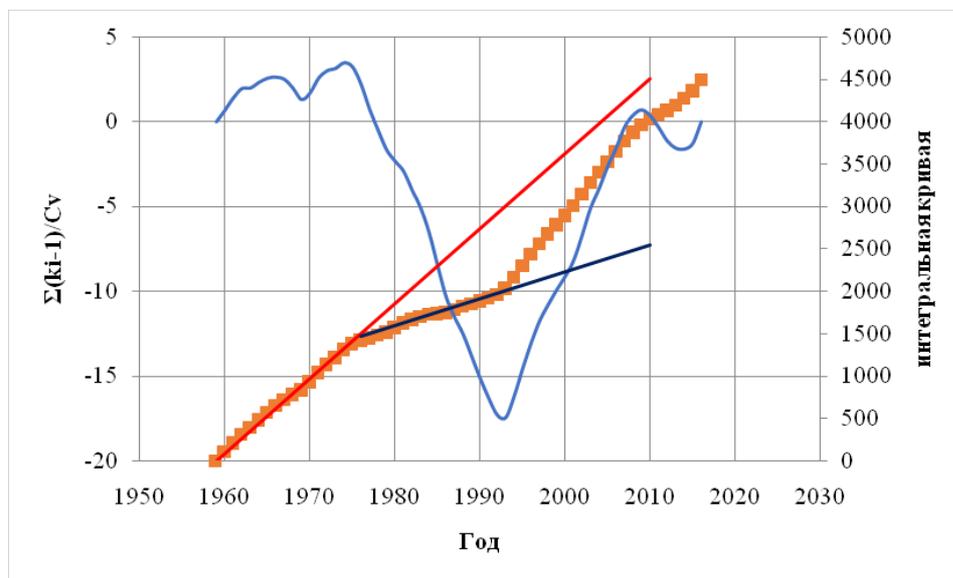


Рисунок 7 – Разностно-интегральная кривая хода средних годовых уровней воды оз. Малое Бутырино

На полученных кривых видно, что изменение уровня режима озера Малое Бутырино произошло в 1973 году. Среднее многолетнее значение за период с 1960 по 1973 составляло 87,1 см, за период с 1974 по 1994 составляло 44,9 см, а за период с 1995 по 2016 оно увеличилось на 66,1 см, и составляло 106 см.

Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанции Макушино.

На рисунке 8 представлен хронологический ход температуры приземного слоя атмосферы.

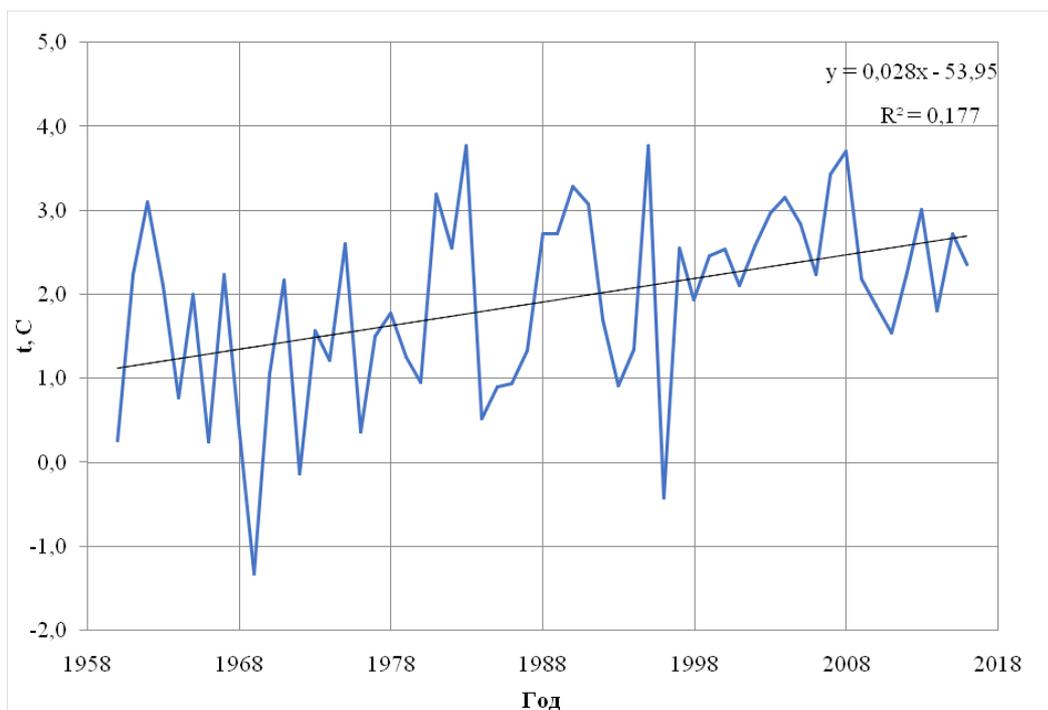


Рисунок 8 – Хронологический график хода средней годовой температуры по данным м/с Макушино

На графике был выявлен статистически значимый тренд на повышение температуры воздуха. Средняя скорость изменений за многолетний период составила $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}$ за 10 лет. При этом, согласно данным наблюдений на м/с Макушино, в годовых суммах осадков наблюдается тенденция на уменьшение (рисунок 9).

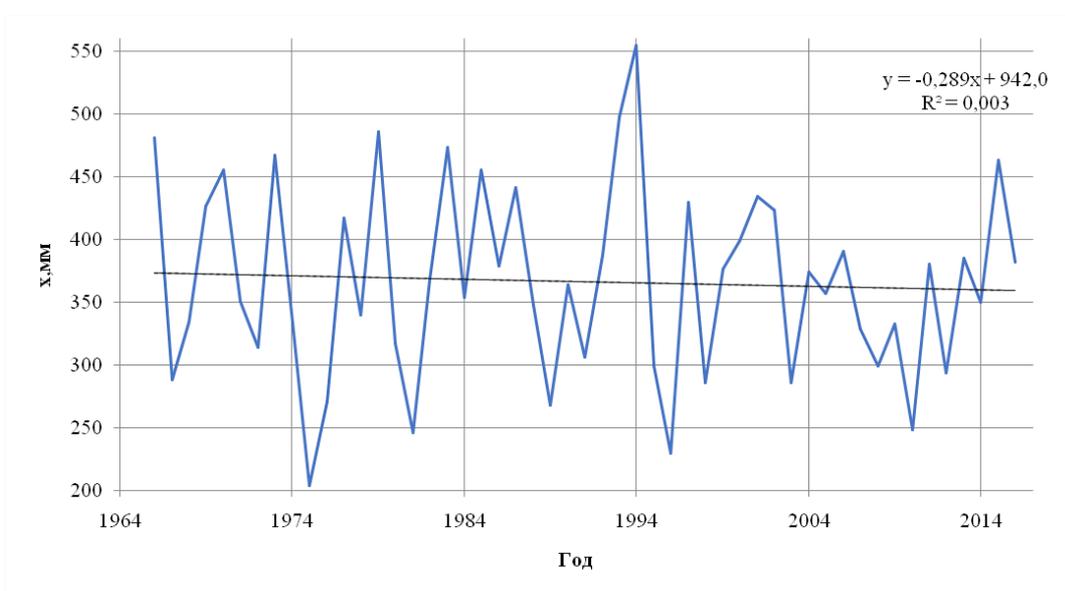


Рисунок 9 – Хронологический график хода годовой суммы осадков по данным наблюдений на м/с Макушино

В ряде данных о годовых суммах осадков на м/с Макушино выявлен статистически незначимый тренд на понижение. Скорость изменений составляет -0,3 мм за 10 лет.

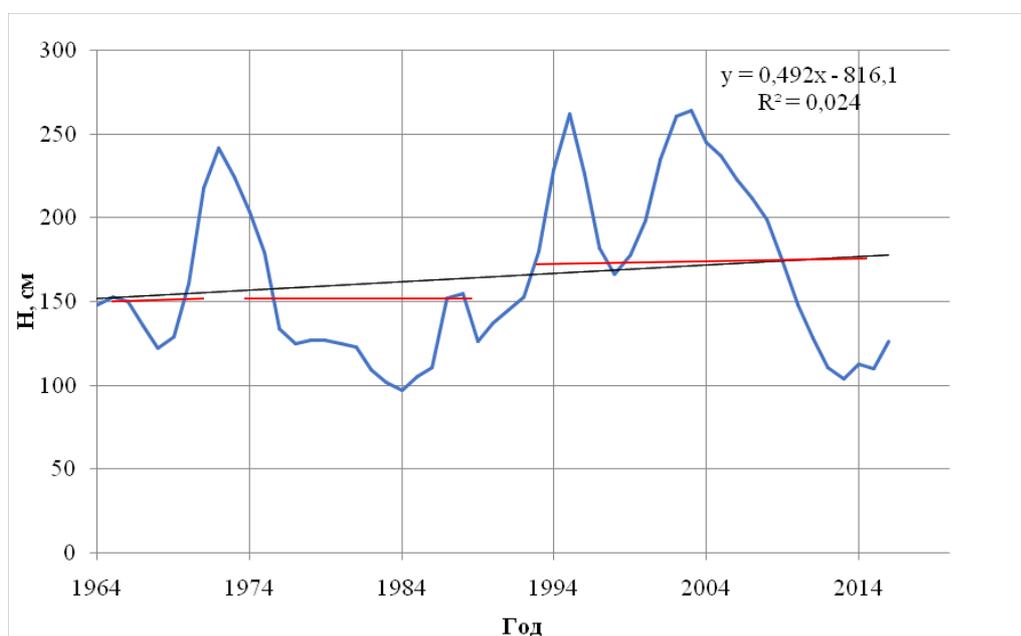


Рисунок 10 – Хронологический график хода средних годовых уровней воды озера Альменьколь

На озере Альменьколь наблюдается статистически незначимый тренд на повышение (рис. 10). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 4 см за 10 лет.

Для уточнения дат изменения уровня режима были построены разностно-интегральная и суммарные кривые (рис. 11).

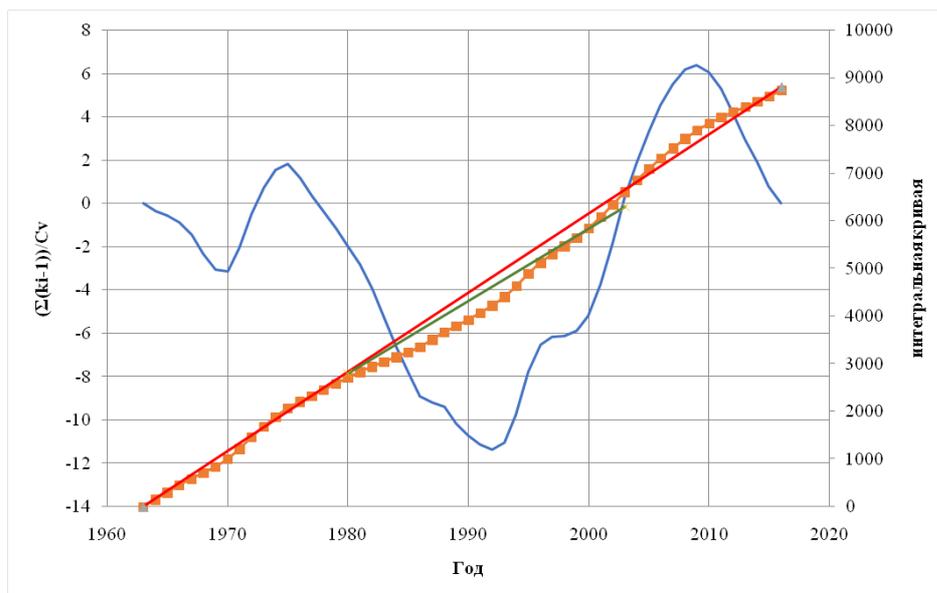


Рисунок 11 – Разностно-интегральная кривая хода средних годовых уровней воды оз. Альменьколь

На полученных кривых видно, что уровень воды в озере Альменьколь стал стремительно падать, начиная с 1972 года. Среднее многолетнее значение за период 1964 по 1972 составляет 162 см, а за период с 1973 по 1989 составляет 137, разница в значениях почти 30 см. С 1990 уровень вновь начал расти вверх, среднее многолетнее значение за период с 1990 по 2016 год составило 183 см.

Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанции Курган.

На рисунке 12 представлен хронологический ход температуры приземного слоя атмосферы.

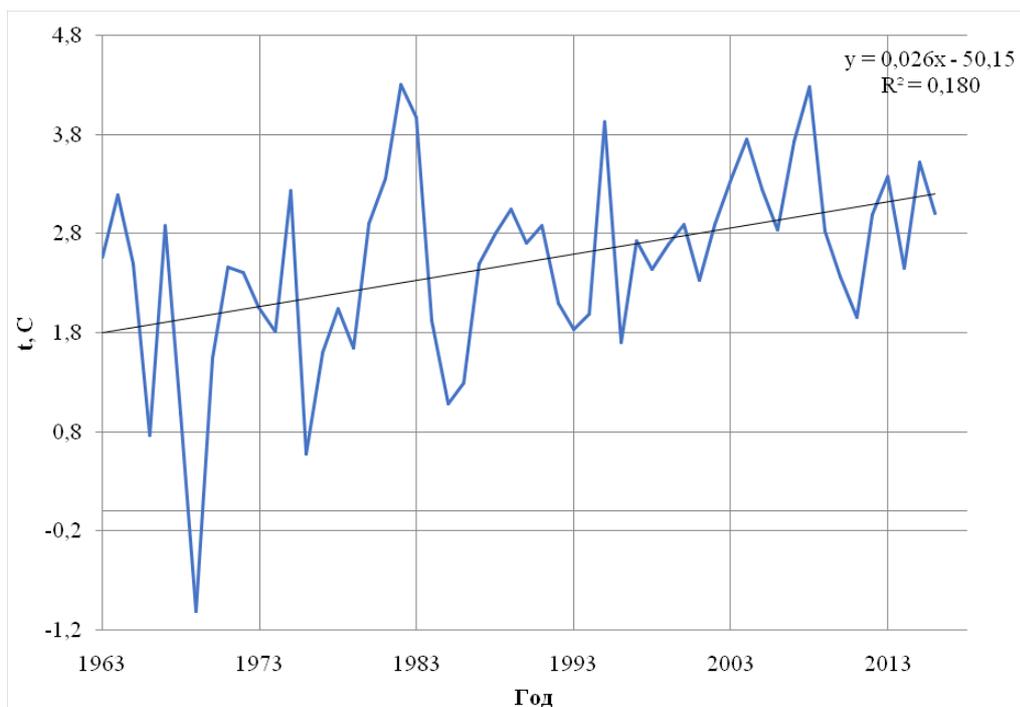


Рисунок 12 – Хронологический график хода средней годовой температуры по данным м/с Курган

На графике был выявлен статистически значимый тренд на повышение температуры воздуха. Средняя скорость изменений за многолетний период составила $0,2^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. При этом, согласно данным наблюдений на м/с Курган, в годовых суммах осадках наблюдается тенденция на уменьшение (рис. 13).

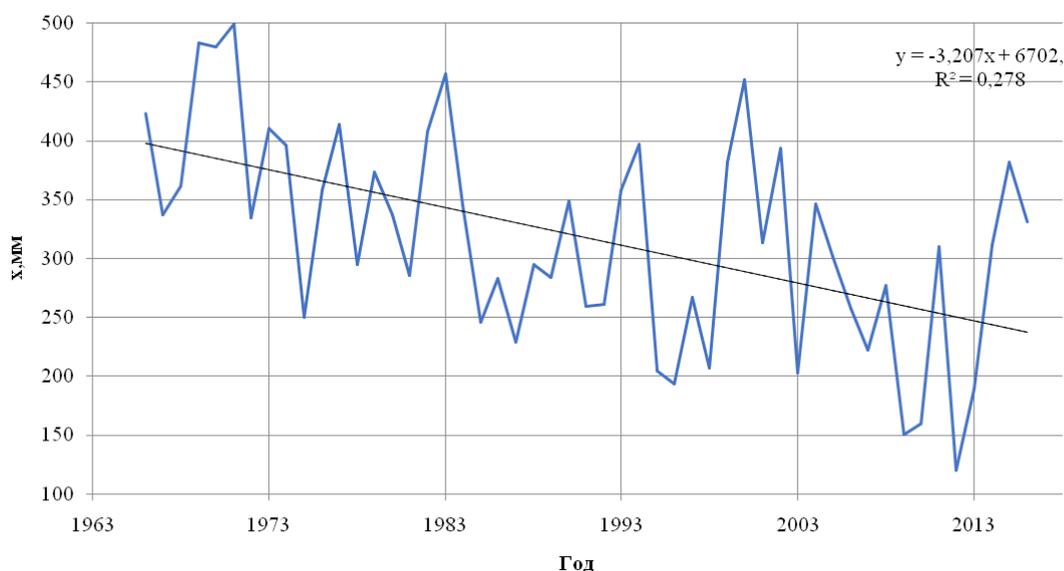


Рисунок 13 – Хронологический график хода годовой суммы осадков по данным наблюдений на м/с Курган

В ряде данных о годовых суммах осадков на м/с Курган выявлен статистически значимый тренд на понижение. Скорость изменений составляет -3,2 мм за 10 лет.

Для более детального анализа уровневого режима озёр Малое Бутырино и Альменьколь были построены хронологические графики хода максимальных и минимальных уровней воды (рис. 14, 16, 18, 20). Построив графики, видно, что точки перелома примерно совпадают. Также, можно наблюдать, что пики падения и повышения уровня в рассматриваемых озерах схожи.

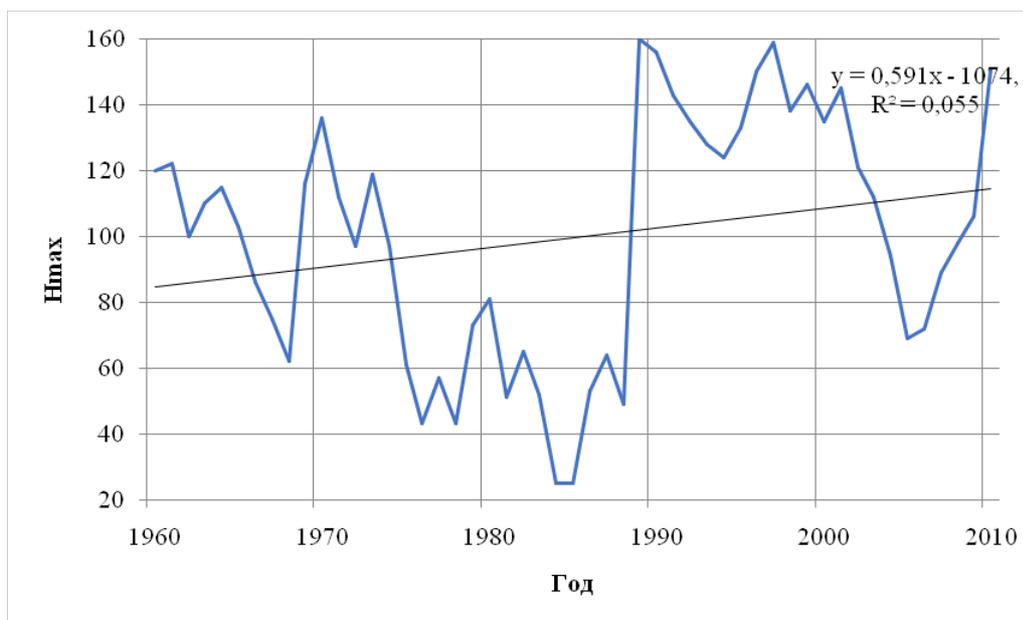


Рисунок 14 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Малое Бутырино

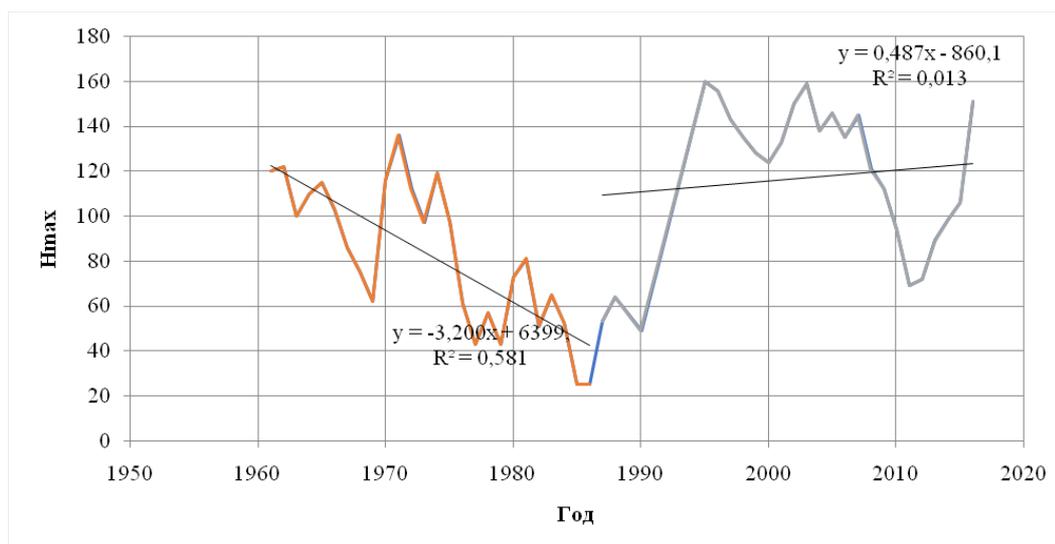


Рисунок 15 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Малое Бутырино с выделенными периодами

На озере Малое Бутырино в максимальных уровнях наблюдается статистически незначимый тренд на повышение (рис. 14). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 5 см за 10 лет.

Разделив ряд данных на два, можно сказать, что в первый период с 1966 по 1986 год наблюдался статистически значимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет – 32 см за

10 лет. Описывая второй период с 1995 по 2016 год, выяснилось, что наблюдался статистически незначимый тренд на повышение. Средняя скорость многолетних изменений составляла 4 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение максимальных уровней за период 1966 по 1986 составляет 82,5 см, а за период с 1995 по 2016 составляет 117, разница в значениях 34,5 см. (рис 15.).

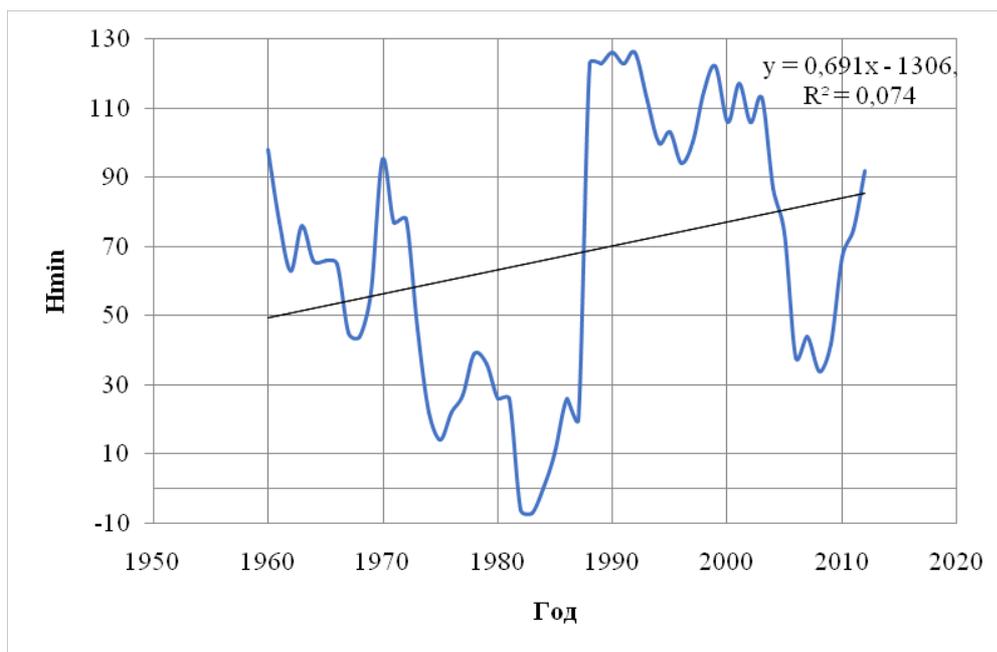


Рисунок 16 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Малое Бутырино

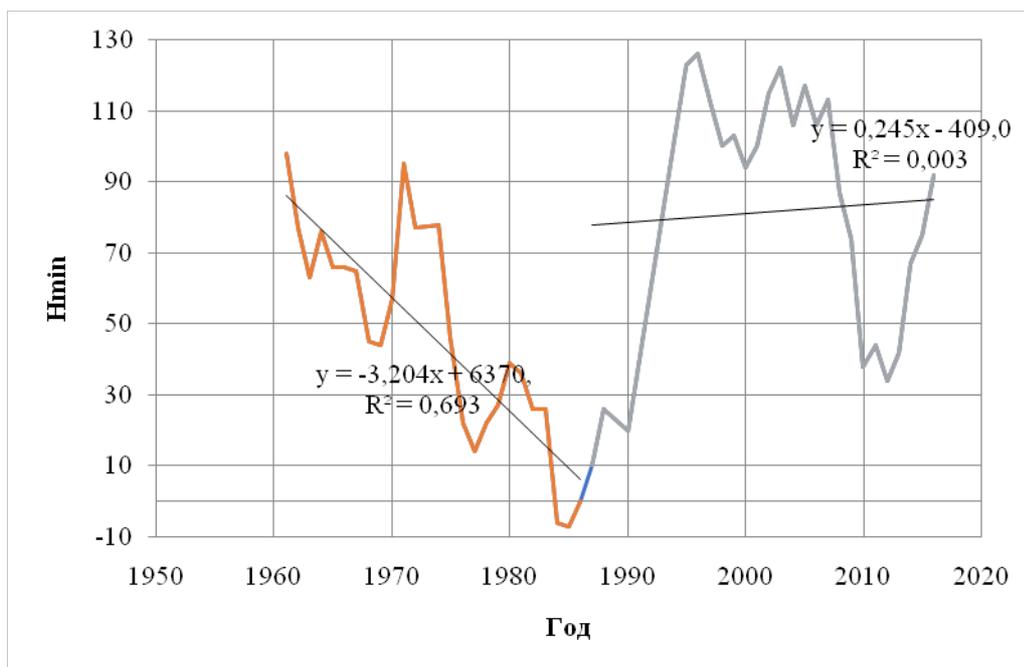


Рисунок 17 – Хронологический график хода минимальных уровней воды озера Малое Бутырино с выделенными периодами

На озере Малое Бутырино в минимальных уровнях наблюдается статистически значимый тренд на повышение (рис. 16). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 6 см за 10 лет.

Разделив ряд данных на два, можно сказать, что в первый период с 1966 по 1986 год наблюдался статистически значимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет – 32 см за 10 лет. Описывая второй период с 1995 по 2016 год, выяснилось, что наблюдался статистически незначимый тренд на повышение. Средняя скорость многолетних изменений составляла 2 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение минимальных уровней за период 1966 по 1986 составляет 46,1 см, а за период с 1995 по 2016 составляет 81,8, разница в значениях почти 36 см. (рис 17.).

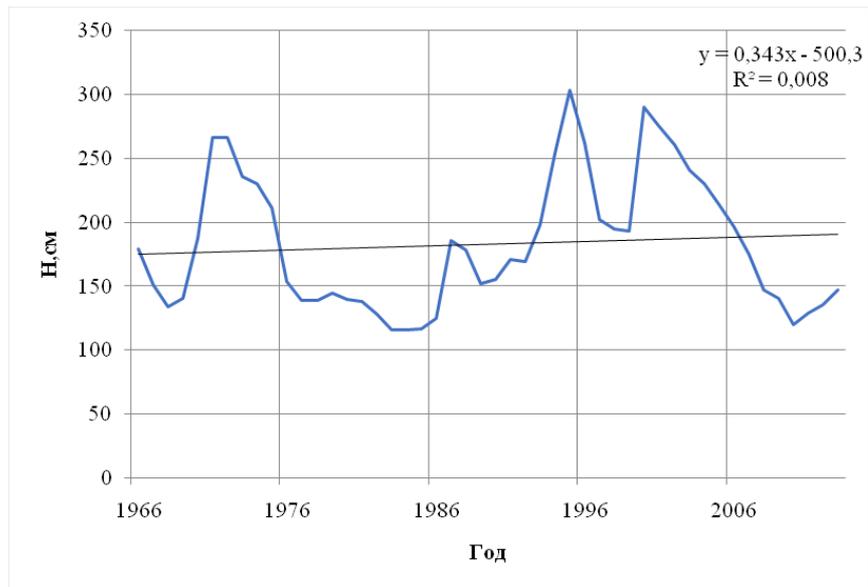


Рисунок 18 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Альменьколь

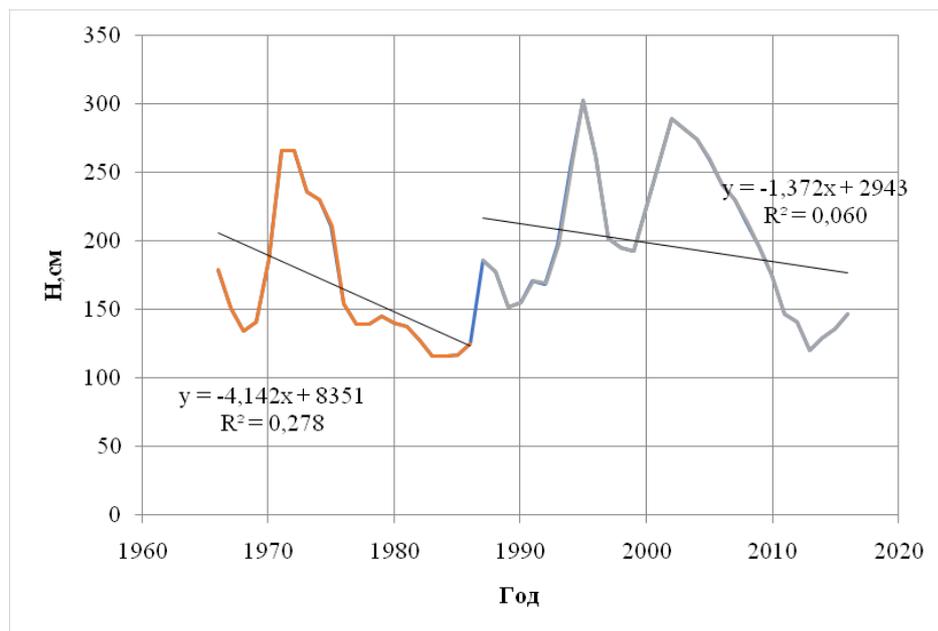


Рисунок 19 – Хронологический график хода максимальных уровней воды озера Альменьколь с выделенными периодами

На озере Альменьколь в максимальных уровнях наблюдается статистически незначимый тренд на понижение (рис. 18). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет - 3 см за 10 лет.

Разделив ряд данных на два, можно сказать, что в первый период с 1966 по 1986 год наблюдался статистически значимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет – 41 см за 10 лет. Описывая второй период с 1987 по 2016 год, выяснилось, что наблюдался статистически незначимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений составляла 13 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение максимальных уровней за период 1966 по 1986 составляет 165 см, а за период с 1987 по 2016 составляет 197, разница в значениях 32 см. (рис 19.).

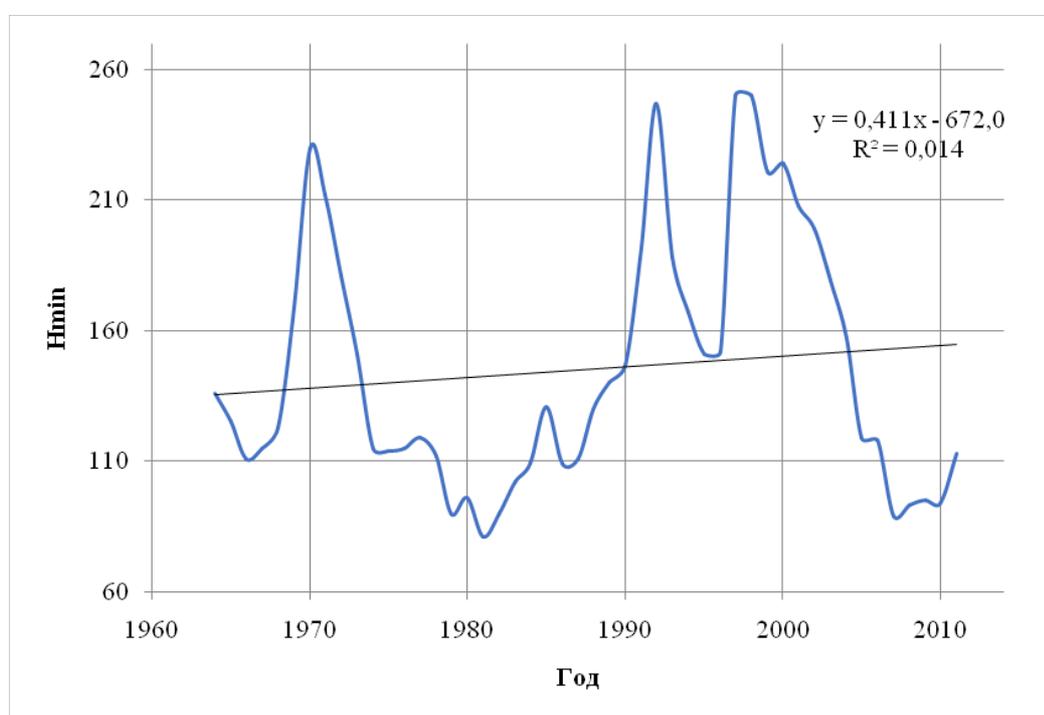


Рисунок 20 – Хронологический график хода минимальных уровней озера Альменьколь

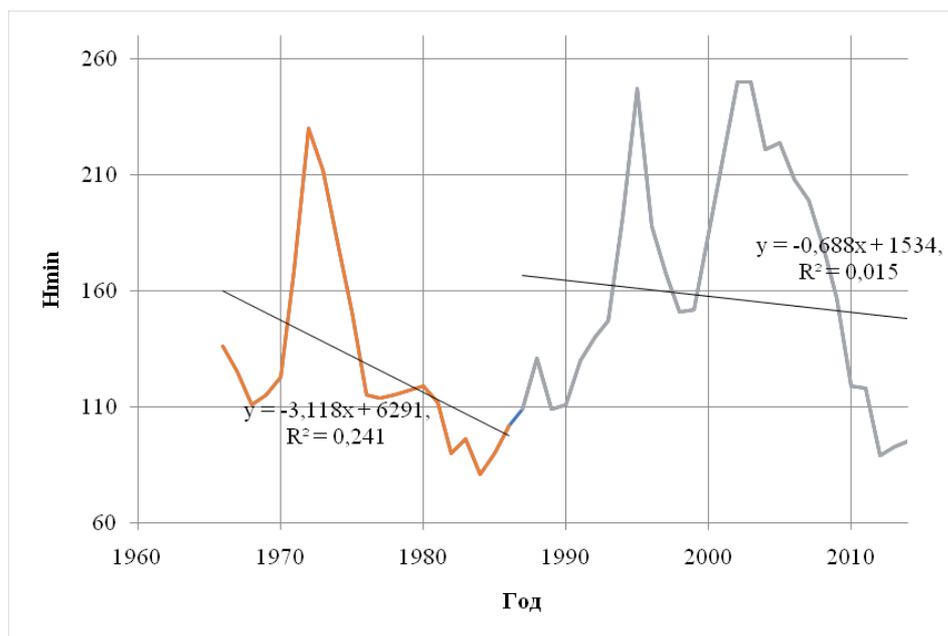


Рисунок 21 – Хронологический график хода минимальных уровней озера Альменьколь с выделенными периодами

На озере Альменьколь в минимальных уровнях наблюдается статистически незначимый тренд на повышение (рис. 20). Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет - 4 см за 10 лет.

Разделив ряд данных на два, можно сказать, что в первый период с 1966 по 1986 год наблюдался статистически значимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет – 31 см за 10 лет. Описывая второй период с 1987 по 2016 год, выяснилось, что наблюдался статистически незначимый тренд на понижение. Средняя скорость многолетних изменений составляла 6 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение минимальных уровней за период 1966 по 1986 составляет 129 см, а за период с 1987 по 2016 составляет 157, разница в значениях 28 см. (рис. 21).

При выполнении условия (1) условие значимости не опровергается, следовательно, тренд считается статистически незначимым. Если же условие значимости опровергается, то тренд считается статистически значимым.

Результаты проверки линейных трендов приведены в таблице 4

Таблица 4 – Проверка значимости линейного тренда

	R^2	R	σ_R	$ R /\sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	Значимость тренда
Максимальные уровни оз. М.Бутырино	0,06	0,24	0,13	1,77	2,01	$t_{2\alpha=5\%}> R /\sigma_R$ (тренд незначим)
Максимальные уровни оз. Альменьколь	0,01	0,09	0,14	0,66	2,01	$t_{2\alpha=5\%}> R /\sigma_R$ (тренд незначим)
Минимальные уровни оз. М.Бутырино	0,07	0,27	0,13	2,07	2,01	$t_{2\alpha=5\%}< R /\sigma_R$ (тренд значим)
Минимальные уровни оз. Альменьколь	0,01	0,12	0,14	0,88	2,01	$t_{2\alpha=5\%}> R /\sigma_R$ (тренд незначим)

Проводилась оценка значимости трендов, в ряде максимальных годовых уровней воды озёр Малое Бутырино и Альменьколь был выявлен статистически незначимый тренд на повышение. Скорость изменения составляет 5 см и 3 см за 10 лет.

Также, проводилась оценка значимости трендов в ряде минимальных годовых уровней воды озёр Малое Бутырино и Альменьколь. У озера Малое Бутырино был выявлен статистически значимый тренд на повышение, скорость изменения уровня воды за 10 лет составляет 6 см, а у озера Альменьколь был выявлен статистически незначимый тренд на повышение, и скорость изменения за 10 лет составила 4 см.

4 Построение и анализ разностно-интегральных кривых

Дальнейшим шагом было построение разностно-интегральных кривых, на которых мы четко можем видеть изменения уровня озёра.

Любая неоднородность ряда данных наиболее явно проявляется при построении разностно-интегральных кривых. В период повышенных значений переменной наблюдается рост ординат, а период, когда значения ниже средних обозначается спадом кривой. Графики двух последних форм для обеспечения их сравнимости по разным объектам могут перестраиваться путем приведения к единичному среднему или к единичной дисперсии. Проверка гипотезы однородности выделенных частей ряда может быть выполнена в том случае, если для этого достаточна их длина. Проверка однородности ряда в отношении среднего значения переменной выполняется по критериям Стьюдента. Однородность ряда в отношении дисперсии проверяется по критериям Фишера. [6]

Критерии, используемые для проверки однородности гидрологических рядов:

- Критерии Стьюдента

При определении уровней необходимо, чтобы наблюдения, образующие гидрологический ряд, были однородными, т.е. состояли из фазово-однородных величин, имеющих одинаковое происхождение.

Статистические методы анализа гидрологических данных, применимы только к однородным рядам, поэтому перед проведением любых статистических расчетов необходимо осуществить проверку однородности исходных гидрологических рядов.

Для проверки однородности гидрологических рядов используются критерии двух типов: параметрические и непараметрические.

В параметрических критериях при построении анализируемой статистики используют выборочные оценки параметров распределения. При

этом считается, что исходная выборка относится к генеральной совокупности с известным типом распределения (как правило, принимается нормальный закон распределения).

Непараметрические критерии базируются на использовании непараметрических статистик. Статистика $g(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ является непараметрической, если ее распределение не зависит от распределения X . Поэтому наряду с термином «непараметрический» используется более точный: «свободный от распределения». Хотя непараметрические критерии часто менее эффективны, чем стандартные (параметрические), потеря эффективности в этом случае компенсируется более широкими возможностями их применения.

Из рассматриваемых к числу параметрических относятся приведенные ниже критерии Стьюдента и Фишера.

Критерий Стьюдента является так называемым стандартным критерием и рекомендуется в большинстве нормативных документов в качестве одного из официальных тестов на однородность. Однако при его использовании следует учитывать три момента.

При построении критерия предполагается, что анализируемые выборки относятся к нормальным совокупностям, а большинство гидрологических рядов, как правило, имеют небольшую положительную асимметрию, что повышает риск совершить ошибку

При построении критерия предполагалось, что анализируемые выборки имеют одинаковую (хотя и неизвестную) дисперсию, поэтому перед использованием критерия Стьюдента следует проверить ряд на однородность по дисперсии.

В классической статистике длина выборок предполагается значительно большей, чем та, которую мы имеем на практике. Поэтому нельзя исключить ситуацию, когда гипотеза об однородности ряда опровергается из-за недостаточной длины этого ряда. Например, если ряд включает серию маловодных и серию многоводных лет, то при разрезке пополам в одну

выборку могут попасть уровни маловодной фазы, а в другую - многоводной.

- Критерии Фишера

Распределение Фишера, как известно, несимметрично, и для того чтобы сократить объем таблиц, их составляют только для значений $F > 1$, а при сравнении S_x^2 и S_y^2 в числитель всегда подставляют большую дисперсию.

В этом случае доверительная область при уровне значимости 2α определяется выражением:

$$1 \leq (S_x^2/S_y^2) < F_{1-\alpha} \quad (3)$$

Этот критерий используется для проверки однородности гидрологических рядов по дисперсии. Исходный ряд делится на две части, затем оцениваются дисперсии для каждой из частей ряда и вычисляется эмпирическое значение статистики Фишера. [7]

Проверка рядов на однородность проводится с использованием критериев Фишера и Стьюдента. Проверка проводится при уровне значимости $2\alpha = 5\%$. Гипотеза об однородности рядов не опровергается, если выполняются следующие условия:

$$F^* < F_{2\alpha} \quad (4)$$

$$t^* < t_{2\alpha} \quad (5)$$

где: F^* , – эмпирические значения статистик, соответственно Фишера и t^* Стьюдента;

$F_{2\alpha}$, $t_{2\alpha}$ – теоретические значения статистик, соответственно Фишера и Стьюдента, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$.

Эмпирические значения статистик Фишера и Стьюдента определяются по формулам:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad (6)$$

$$t^* = \left[(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (7)$$

где D_1 и D_2 – дисперсии по одной и другой частям ряда ($D_1 > D_2$);

σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения по первой и второй частям ряда;

\bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 – средние значения по первой и второй частям ряда;

n_1 и n_2 – длина первой и второй частей ряда.

Таблица 5 – Результаты проверки рядов на однородность при $2\alpha = 5\%$ и $r(1) = 0$

	t^*	$t_{2\alpha\%}$	H_0 : x_1 = x_2	Результат	F^*	$F_{2\alpha\%}$	H_0 : D_1 = D_2	Результат
Уровни оз.М.Бутырино	3,53	2,00	опр	ряд неоднороден	1,40	2,13	не опр	ряд однороден
Осадки по данным м/с Макушино	0,10	2,01	не опр	ряд однороден	1,10	2,25	не опр	ряд однороден
Температура по данным м/с Макушино	3,42	2,00	опр	ряд неоднороден	1,67	2,13	не опр	ряд однороден

Уровни оз. Альменьколь	3,19	2,00	опр	ряд неоднороден	1,72	2,23	не опр	ряд однороден
Осадки по данным м/с Курган	3,42	2,00	опр	ряд неоднороден	0,78	0,44	опр	ряд неоднороден
Температура по данным м/с Курган	2,75	2,00	опр	ряд неоднороден	2,86	2,19	опр	ряд неоднороден

Проверка показала, что при использовании критериев Фишера и Стьюдента, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$, нулевая гипотеза об однородности опровергается лишь для ряда суммарных годовых осадков озера Альменьколь. Для остальных рядов при использовании критериев нулевая гипотеза об однородности не опровергается

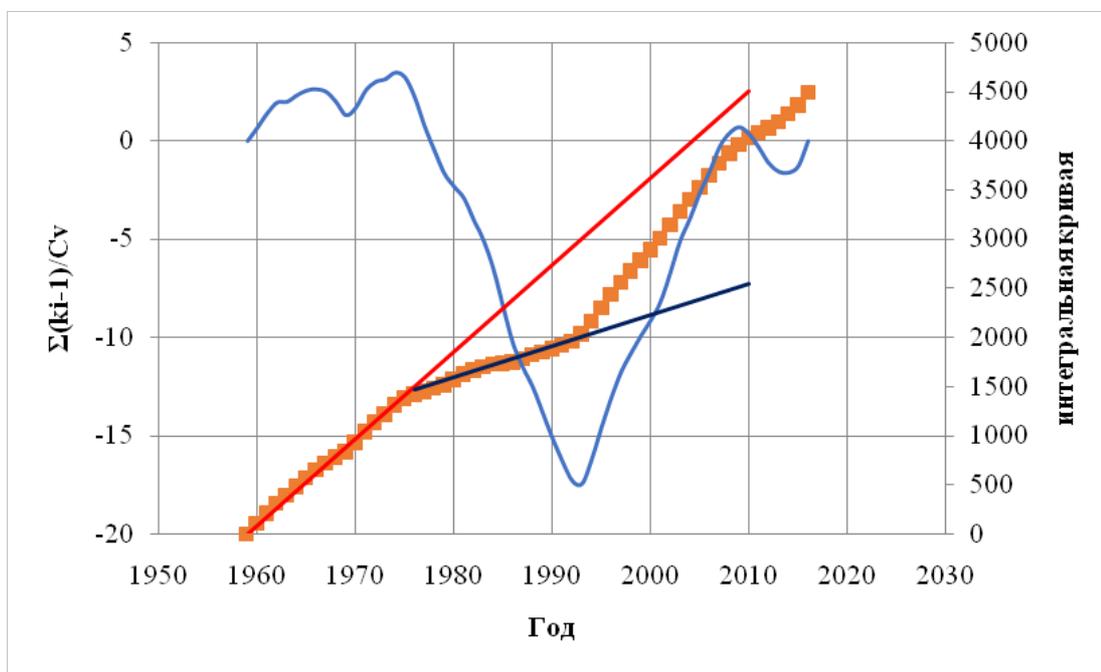


Рисунок 22 – Разностно-интегральная кривая хода средних годовых уровней воды оз. Малое Бутырино

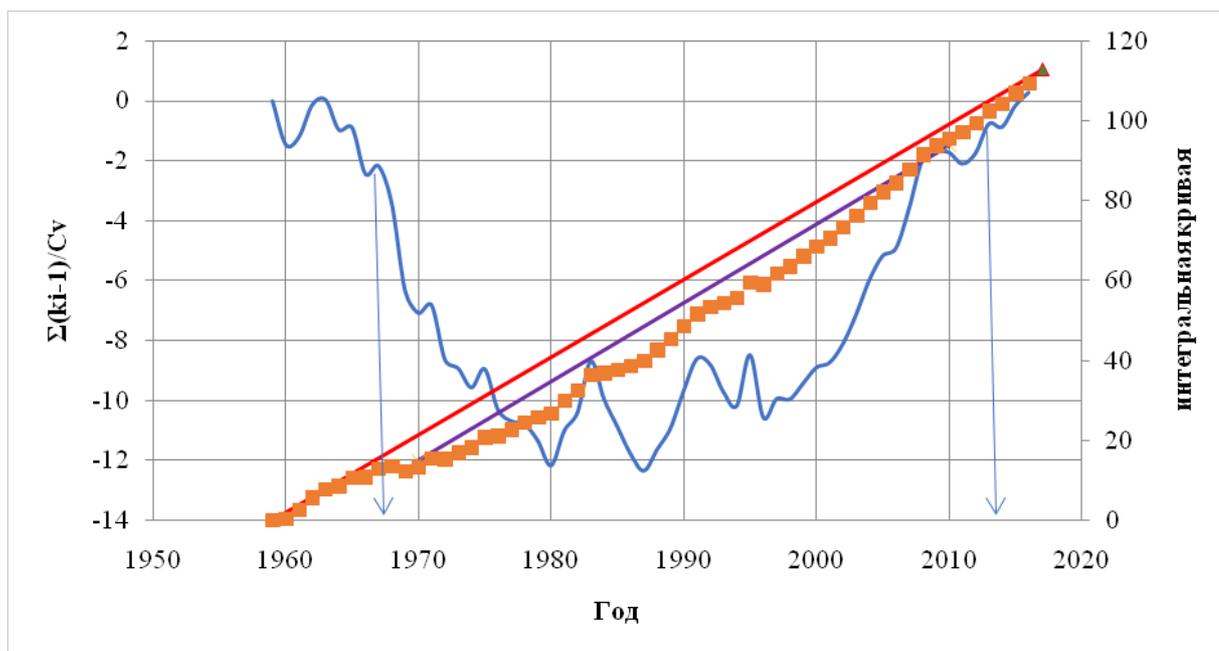


Рисунок 23 – Разностно-интегральная кривая хода средних температур по данным наблюдений м/с Макушино

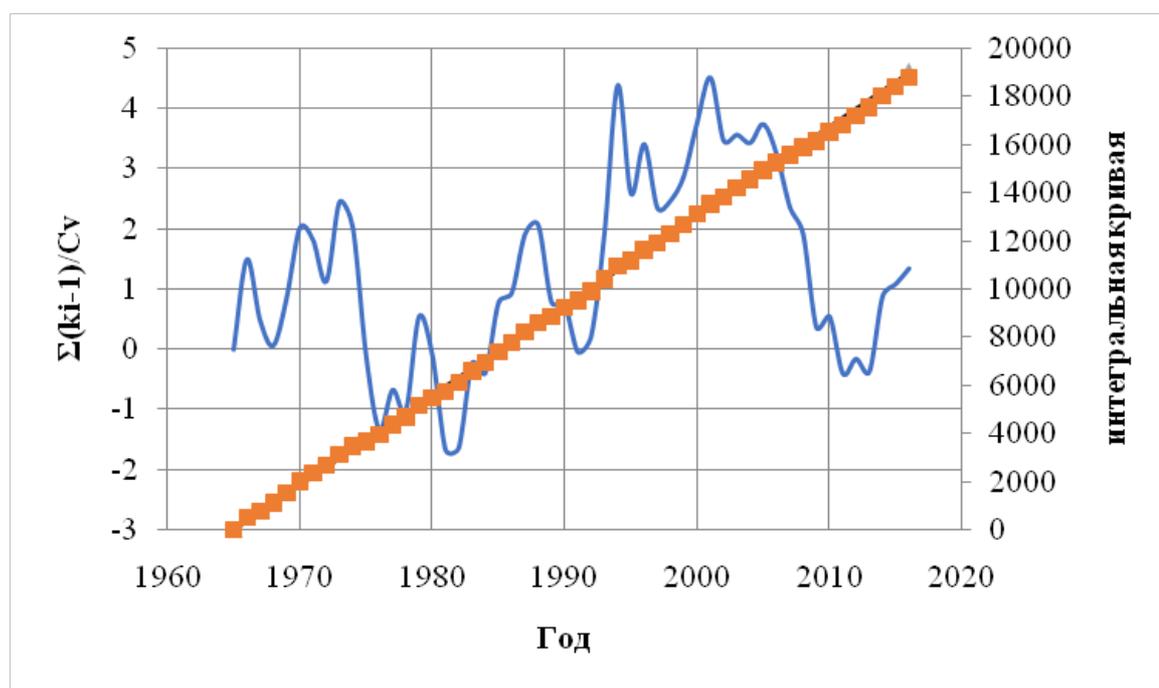


Рисунок 24 – Разностно-интегральная кривая хода суммарных осадков по данным наблюдений м/с Макушино

Падение уровня началось в 1973 и продолжалось до 1994 после чего стал происходить стремительный подъем. Обращая внимание на разностно-

интегральную кривую температуры, мы можем увидеть, что примерно в это же время началось падение температуры. Так как наше озеро бессточное, то оно имеет высокую инерционность, следовательно, при высоких температурах испарение увеличивалось, а уровень падал, но в нашей ситуации связать падение уровня с температурой мы не можем. Анализируя разностно-интегральную кривую суммарных осадков, можно заметить, что количество осадков было достаточно мало, что и могло сыграть роль в падении уровня в озере Малое Бутырино.

С 1992 года проводится комплексная оценка степени загрязненности поверхностных вод Курганской области. На качество водных объектов Курганской области оказывает влияние трансграничный перенос загрязняющих веществ из Челябинской, Свердловской областей. Антропогенные влияние, трансграничный перенос загрязняющих веществ наглядно проявляются в изменении показателей комплексной оценки. Озеро Малое Бутырино относится к 5 классу качества, означающий, что повышено содержание железа, меди, цинка и марганца. Уровень загрязнения озёр металлами, к сожалению, остается стабильным уже на протяжении многих лет. Повышение марганца в воде носит сезонный характер и объясняется тем, что поддерживается высокий местный гидрохимический фон. Выявлено, что в озере Малое Бутырино вода «экстремально грязная».

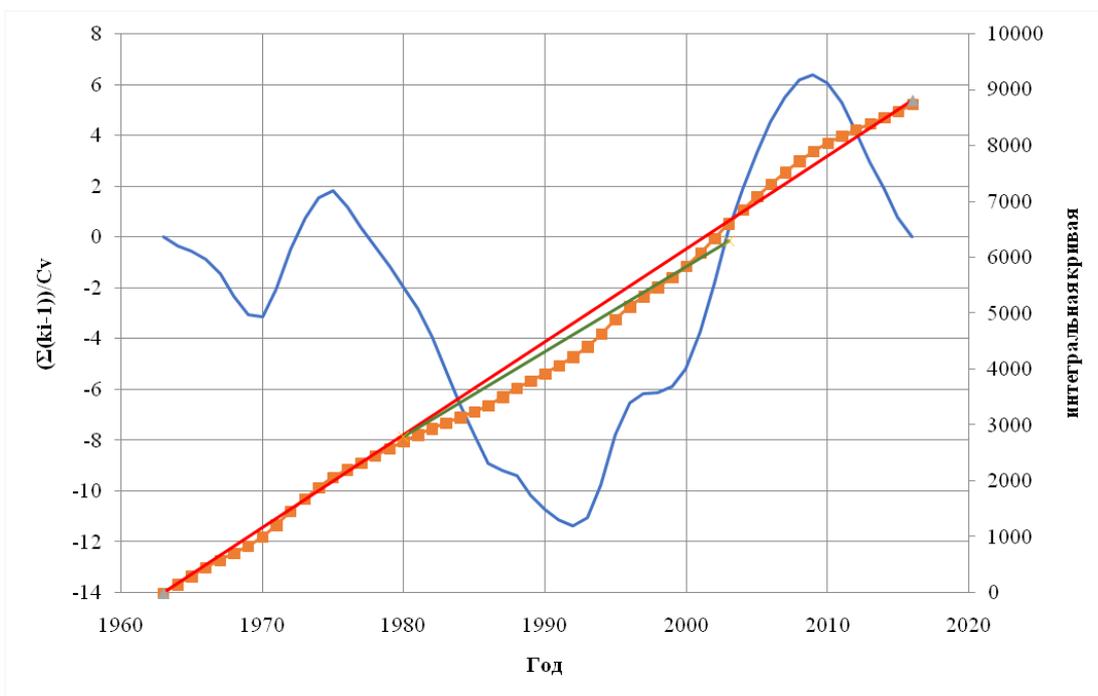


Рисунок 25 – Разностно-интегральная кривая хода средних годовых уровней воды оз. Альменьколь

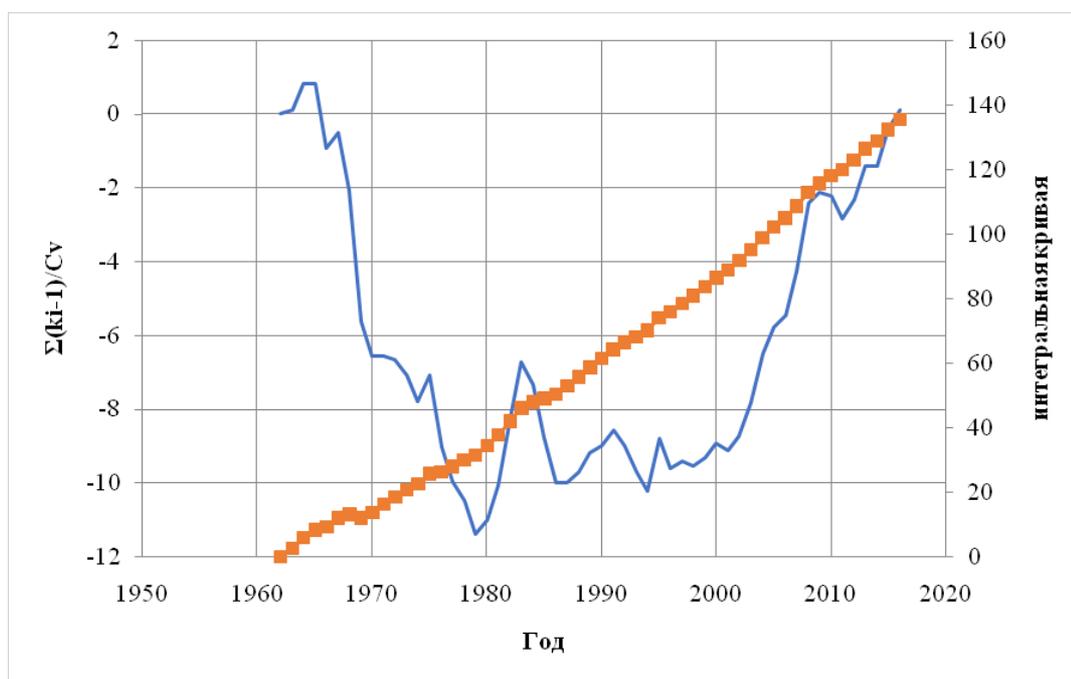


Рисунок 26 – Разностно-интегральная кривая хода средних годовых температур по данным наблюдений м/с Курган

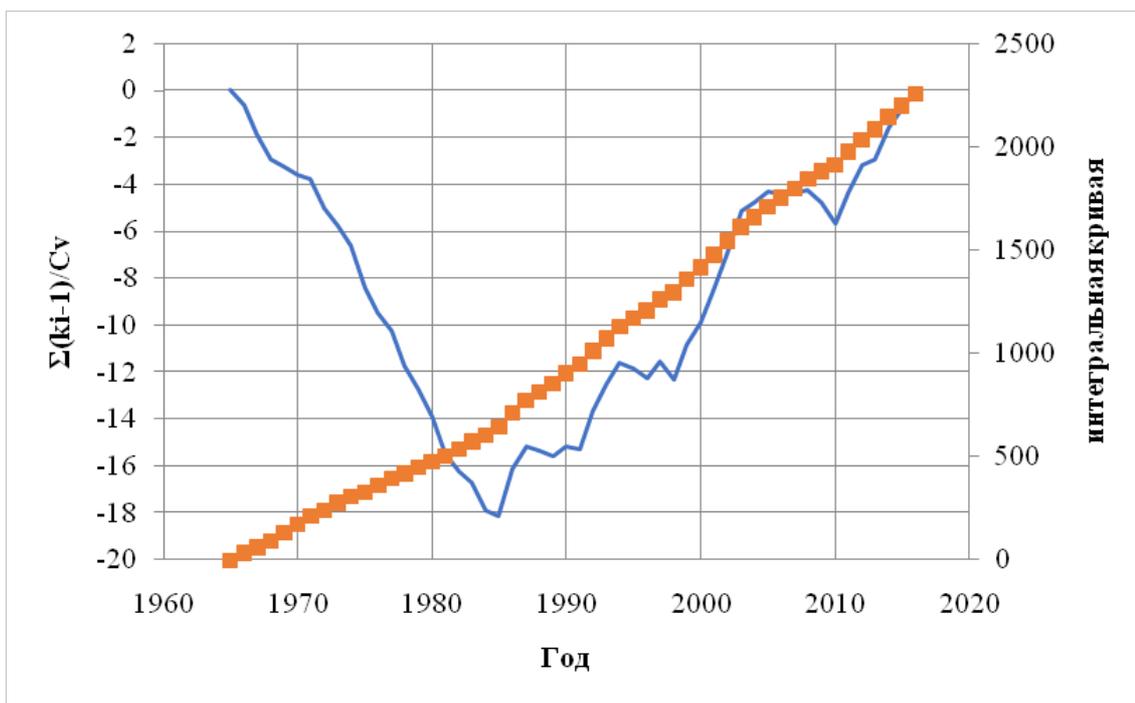


Рисунок 27 – Разностно-интегральная кривая хода суммарных годовых осадков по данным наблюдений м/с Курган

Анализируя разностно-интегральную кривую уровней воды озера Альменьколь, мы видим, что уровень стал стремительно падать, начиная с 1972 года, с 1994 начал расти вверх, а в 2008 опять начал падать.

На разностно-интегральных кривых температуры и суммарных осадков происходит резкий спад, начиная с 1968 года, а повышение начинается лишь в 2005-2006 году.

5 Сравнительный анализ озер Малое Бутырино и Альменьколь

Несмотря на то, что оба озера, Малое Бутырино и Альменьколь, находятся в одной географической зоне, уровенный режим обоих озер имеет явные отличия, оба озера реагируют на климатические изменения по-разному. Одним из основных факторов, влияющих на эти отличия, является тот факт, что озеро Малое Бутырино является бессточным, в то время как Альменьколь проточным.

Для озера Малое Бутырино с естественным водным режимом до конца 1970-х – начала 1980-х годов наблюдалось значительное понижение среднегодового уровня. Затем до середины 2000-х годов происходило повышение уровня, сменившееся понижением до 2013 г.

Согласно имеющейся информации в справочнике основных гидрологических характеристик за 2021 год [8], на озёрах Альменьколь и Малое Бутырино активной антропогенной деятельности не отмечается, см. рисунок 28.

№ п/п	Название озера	Географические координаты, град.		Площадь водосбора, км ²	Площадь зеркала, км ²	Высота над уровнем моря, м*	Объем, км ³	Длина, км	Ширина, км		Глубина, м		Характер антропогенного воздействия
		сев. широта	вост. долгота						средняя	максимальная	средняя	максимальная	
33	Щучье	55,7408	32,1419	310	11,9	176	0,0583	14	0,74	2,4	4,9	13	
34	Охват	56,7722	32,4297	586	13,6	215	0,0857	9,6	1,4	1,5	6,3	28	
35	Плещеево	56,7664	38,7844	425	50,8	138	0,58	9,6		6,5	11	25	С 1976 г. зарегулировано плотиной на р.Векса. Подъем уровня на 40-50 см происходил до 1985/1986 г.
36	Неро	57,1667	39,4333	1220	54,4	93	0,07	14	3,5	7,6	1,4	4,2	
Азиатская территория РФ													
1	Малое Бутырино	55,5200	68,1500	не опр.	5,1	130	0,0109	3	1,7	2,7	2	3,8	
2	Альменьколь Большой	54,9525	63,5719	83,5	6,5	170	0,0104	3,8	1,7	2,9	1,6	3,4	

Рисунок 28 – Описание озёр в справочнике ОГХ РФ за 2021 год

Изменение уровенного режима озёр происходит в 1972-1973 году. Тенденция к понижению и повышению уровней совпадает, амплитуда колеблется от 25 до 63,8 см.

В работе [5] отмечается, что негативное воздействие на состояние водных объектов оказывает хозяйственная деятельность человека на водосборных площадях исследуемых водных объектов, связанная с распашкой земель, применением гербицидов и удобрений, строительством дорог, мостов и газо-нефте-продуктопроводов (ГНПП). Это сказывается на качестве воды в озерах. Наибольшую долю в общую оценку степени загрязненности воды вносят критические показатели загрязненности хлориды, сульфаты, трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), цинк. По величине общего оценочного балла (9,4) выявлен новый критический показатель загрязненности – трудноокисляемые органические вещества (по ХПК). Значение УКИЗВ в 2018 году оз. Малое Бутырино в створе с. Бутырино составило 6,38, что соответствует 4 классу качества разряду Г, и характеризует воду, как «очень грязная». По сравнению с результатами 2017 года (5 класс «экстремально грязная»), качество воды улучшилось [4].

Среднее многолетнее значение уровня воды в озере Малое Бутырино за период с 1974 по 1994 составляло 45 см, а за период с 1995 по 2016 оно составляло 106 см. Среднее многолетнее значение отметки уровня воды в озере Альменьколь за период 1964 по 1972 составляет 162 см, а за период с 1973 по 1989 составляет 137 см. С 1990 уровень вновь начал расти вверх, среднее многолетнее значение за период с 1990 по 2016 год составило 183 см.

Заключение

В ходе данной работы был изучен уровенный режим озёр Малое Бутырино и Альменьколь, расположенных в Курганской области. Для достижения поставленной цели был проведен анализ гидрометеорологической информации, а также наблюдение за изменениями уровней и нахождение их причин.

Выявлено, что для озер Малое Бутырино и Альменьколь, на которых наблюдается естественный водный режим, до конца 1970-х – начала 1980-х годов наблюдалось значительное понижение среднегодового уровня. Затем до середины 2000-х годов происходило повышение уровня, сменившееся понижением до 2013 г.

В рядах максимальных годовых уровней воды озёр Малое Бутырино и Альменьколь был выявлен статистически незначимый тренд на повышение. Скорость изменения составляет 5 см и 3 см за 10 лет. Также, проводилась оценка значимости трендов в ряде минимальных годовых уровней воды озёр Малое Бутырино и Альменьколь. У озера Малое Бутырино был выявлен статистически значимый тренд на повышение, скорость изменения уровня воды за 10 лет составляет 6 см, а у озера Альменьколь был выявлен статистически незначимый тренд на повышение, и скорость изменения за 10 лет составила 4 см.

На озере Малое Бутырино наблюдается статистически незначимый тренд на повышение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 5 см за 10 лет.

На озере Альменьколь наблюдается статистически незначимый тренд на повышение. Средняя скорость многолетних изменений уровня воды составляет 4 см за 10 лет.

Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озера привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Макушино и Курган.

В рядах средних годовых температур воздуха были выявлены статистически значимы тренд на повышение температуры воздуха. А в рядах годовых сумм осадков были выявлены статистически значимые тренды на понижение.

Список используемой литературы

1. Черняева Л. Е. Гидрохимия озёр (Урал и Приуралье) / Л. Е. Черняева, А. М. Черняев, М. Н. Еремеева. — Ленинград : Гидрометиздание, 1977. — 366 с. — Текст : непосредственный.
2. Изиметова М. Ф. Качество воды рыбохозяйственных озёр Курганской области / М. Ф. Изиметова. — Екатеринбург : , 2019. — С. 98-102.
3. Флора и фауна Курганской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3.http//www.russia45.ru> – Дата доступа: 10.05.2022.
4. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Курганской области в 2018 году. – Курган, 2019 - 244 с.
5. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Курганской области в 2020 году. – Курган, 2021 - 184 с.
6. Сикан А.В., Методы статистической обработки гидрометеорологической информации/ А.В. Сикан – Спб, 2007. — С. 107-115
7. Орлов А.И., О проверке однородности двух независимых выборок - Журнал «Заводская лаборатория», 2003. — С.55-60
8. Георгиевский В.Ю., Основные Гидрологические Характеристики озер Российской Федерации и их многолетние изменения / В.Ю. Георгиевский – СПб.: изд. ГГИ, 2021. — 364 с. — Текст: непосредственный.
9. Алюшинская Н.М., Ресурсы поверхностных вод СССР, том 11 / Н.М. Алюшинская. — Ленинград: Гидрометиздат, 1973. — 849 с. — Текст: непосредственный.