



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 **Особенности уровня  
режима озер Ярославской  
области (оз. Неро и Плещеево)**

Исполнитель Павлович Герман Константинович  
(фамилия, имя, отчество)

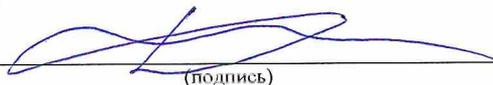
Руководитель кандидат географических наук  
(ученая степень, ученое звание)

**Исаев Дмитрий Игоревич**  
(фамилия, имя, отчество)

Консультант \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

**Давыденко Екатерина Владимировна**  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой

  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

«13» июня 2022г.

Санкт-Петербург  
2022

## Оглавление

Введение.....	3
1 Физико-географическое и климатическое описание района.....	4
1.1 Рельеф.....	4
1.2 Геологическое строение .....	6
1.3 Почвенный покров .....	7
1.4 Растительность .....	8
1.5 Климат.....	9
2 Гидрометеорологическая изученность района .....	11
3 Методы исследования.....	15
3.1 Критерий Стьюдента .....	16
3.2 Критерий Фишера .....	16
3.3 Разностные интегральные кривые.....	18
3.4 Значимость трендов .....	19
4 Анализ полученных результатов.....	20
5 Экологическая составляющая.....	37
Заключение .....	39
Список использованных источников .....	40

## Введение

Озера представляют собой водоемы замедленного водообмена, которые распространены повсеместно. Эти водные объекты широко используются в хозяйственных целях.

Также озера представляют собой индикатор различных процессов, поскольку они реагируют на любое изменение климатических условий, а также на антропогенную деятельность.

Таким образом, уровень режим в озерах сильно зависит от климатической составляющей. Из-за изменения уровня режима меняется водный баланс, который зависит от изменения объема озера, зависящий от колебаний уровня воды в озере. Главной приходной составляющей являются атмосферные осадки, которые влияют на количество воды в водоеме.

Целью настоящей работы является определение особенностей уровня режима озер Ярославской области.

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. сравнить уровень режим озер Неро и Плещеево.

# 1 Физико-географическое и климатическое описание района

## 1.1 Рельеф

Рассматриваемая территория расположена в пределах Русской равнины.

Поверхность территории представляет собой чередование низменных равнин и возвышенностей с колебанием абсолютных отметок в пределах 100 – 200 м. На формирование рельефа большое влияние оказало геологическое строение и тектонические особенности Русской платформы. Описываемая территория не менее четырех раз перекрывалась ледниками, но на формирование рельефа в основном оказала влияние деятельность трех последних ледниковых покровов: днепровского, московского и валдайского. Формы поверхности, возникшие в результате деятельности ледников, в последующее время в разной степени были преобразованы воздействием флювиальных и эрозионных процессов.

Провинция ледниковых холмистых плоских равнин охватывает всю рассматриваемую территорию. Северо-западная часть провинции характеризуется хорошо сохранившимися эрозионными формами, оставленными валдайским ледником, на остальной части ледниковые формы значительно изменены процессами денудации.

Большая часть территории представляет собой мелкохолмистую моренную равнину с многочисленными плоскими, часто замкнутыми понижениями, занятыми озерами и болотами. Наиболее крупные озера приурочены к понижениям доледникового рельефа.

Северо-восточная и южная части провинции характеризуются развитием слабохолмистых равнин с широкими, часто заболоченными долинами и низинами. Холмы с расплывчатыми очертаниями незаметно переходят в разделяющие их ложбины [1].

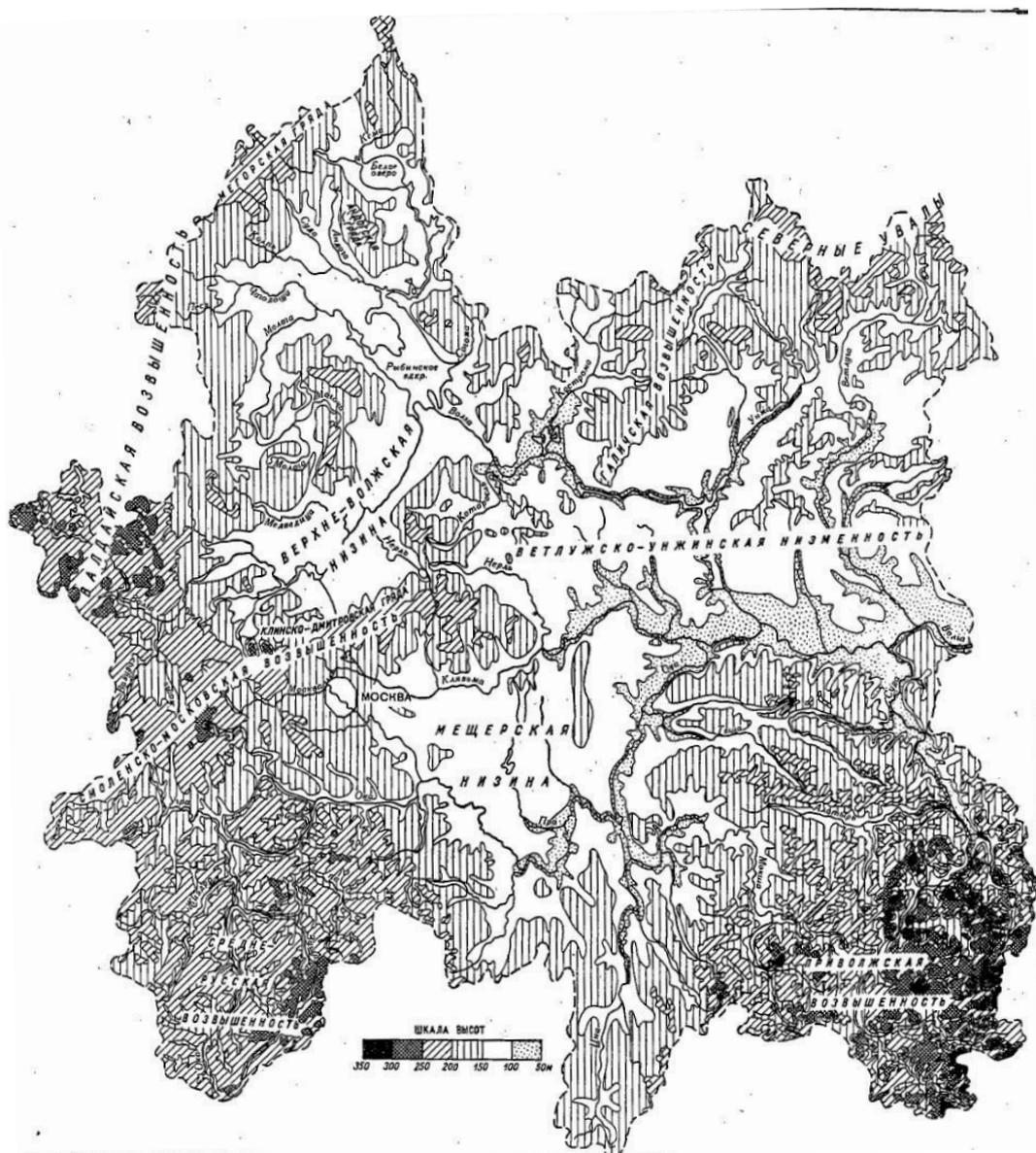


Рисунок 1 – Схематическая карта рельефа.

## 1.2 Геологическое строение

Рассматриваемая территория расположена в центральной части кристаллического фундамента Русской платформы, в основном в пределах Московской синеклизы, заполненной толщей осадочных пород мощностью 1500 – 3000 м. Поверхность кристаллических пород ограничена на юге выступами Воронежской и Волго-Уральской антиклиз и повышается на северо-запад в сторону Балтийского щита. Поверхность докембрийского фундамента осложнена множеством структур второго порядка в виде валов и перегибов.

Кристаллические породы не выходят непосредственно на поверхность. Осадочная толща представлена системами нижнего палеозоя, девона, карбона, перми и мезо-кайнозоя.

Коренные породы обычно выходят на поверхность по берегам рек, а в междуречьях почти повсеместно перекрыты четвертичным чехлом. В четвертичный период большая часть территории района не менее четырех раз перекрывалась ледниками, о чем свидетельствуют четыре самостоятельных горизонта морен, разделенных межледниковыми отложениями. Внеледниковая область испытывала воздействие ледниковых вод. Ледник и его воды оставили сложный комплекс отложений мощностью в десятки метров, представленных мореной, ленточными глинами, флювиогляциальными песками, а также покровными суглинками [1].

### 1.3 Почвенный покров

Почвенный покров разнообразен по составу. Наряду с широтной закономерностью почвенных зон – подзолистой в пределах лесной зоны и черноземной в южной части лесостепной – территория характеризуется мелкоконтурным мозаичным характером почвенных сочетаний, а на отдельных участках отличается микрокомплексностью.

Наиболее распространенными являются дерново-подзолистые почвы, представленные всеми видами по степени оподзоленности; значительное развитие имеют подзолисто-болотные и болотные почвы.

Для южной части характерны черноземы, серые лесные почвы, встречаются и типичные черноземы.

Дерново-подзолистые почвы развиты на ледниковых, водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях, причем в их распространении по степени оподзоленности имеются определенные закономерности: на плоских элементах рельефа складываются условия для наибольшей оподзоленности, на склонах обычно развиваются дерново-средне- и слабо-подзолистые почвы.

По механическому составу дерново-подзолистые почвы очень разнообразны и представлены песчаными, супесчаными и глинистыми разновидностями [1].

## 1.4 Растительность

Большая часть рассматриваемой территории расположена в лесной зоне. В направлении с северо-запада на юго-восток типы лесной растительности и их сочетания меняются от хвойных до широколиственных. Заселенность бассейнов рек в пределах подзоны изменяется от 50 до 90%. Наибольшее распространение имеют еловые и елово-пихтовые леса.

Смешанные широколиственно-еловые леса подзоны характеризуются очень разнообразным составом и степенью залесенности. Разнообразие состава тесно связано с рельефом, экспозицией склонов, характером и увлажненностью почво-грунтов.

Южная часть района относится к лесостепной зоне. Леса располагаются преимущественно по балкам, чаще всего это дубняки и орешники с подлеском из степных видов кустарника.

Луговая растительность повсеместно распространена в лесной зоне небольшими участками. Суходольные луга занимают в основном лесные опушки и поляны. Плохо дренируемые западины, ложбины, окраины болот заняты низинными лугами. Большое распространение имеют пойменные луга в центральной части района. Площадь луговой растительности в среднем для всего района около 12% [1].

## 1.5 Климат

Территория расположена в зоне умеренно-континентального климата с холодной зимой и умеренно-теплым летом. Континентальность климата увеличивается с северо-запада на юго-восток. Основные климатические характеристики и их изменение по территории района определяются влиянием общих и местных факторов: солнечной радиации, циркуляции атмосферы, подстилающей поверхности. По географическому положению район находится под воздействием воздушных масс Атлантики, Арктического бассейна, а также масс, сформировавшихся над территорией Европы.

Средняя годовая температура воздуха на рассматриваемой территории изменяется от 1.4°C на северо-востоке до 4.7°C на юге. Величина годовой амплитуды между средней месячной температурой самого холодного и теплого месяца увеличивается с запада на восток от 27°C до 31 – 32°C.

Наиболее холодным месяцем в году является январь, средняя температура которого колеблется от -9 на юго-западе до -14°C на северо-востоке.

В самый теплый период года температуры воздуха повышается с северо-запада на юго-восток. В самый теплый месяц (июль) средняя температура повышается от 17°C на севере до 20°C на юге.

Продолжительность наиболее теплой части лета со средней суточной температурой выше 15°C в среднем составляет 55 – 60 дней на севере и северо-востоке и 90 – 100 дней на юге.

Территория расположена в зоне достаточного увлажнения. Общее количество осадков составляет 500 – 600 мм в год. Количество осадков уменьшается с северо-запада на юго-восток [1].

## 2 Гидрометеорологическая изученность района

Для выявления особенностей уровня режима были выбраны озера Ярославской области – озера Неро и Плещеево. Пункты наблюдений на данных озерах расположены в городе Ростове и в г. Переславль-Залесский. Расположение озер представлено на рисунке 2.

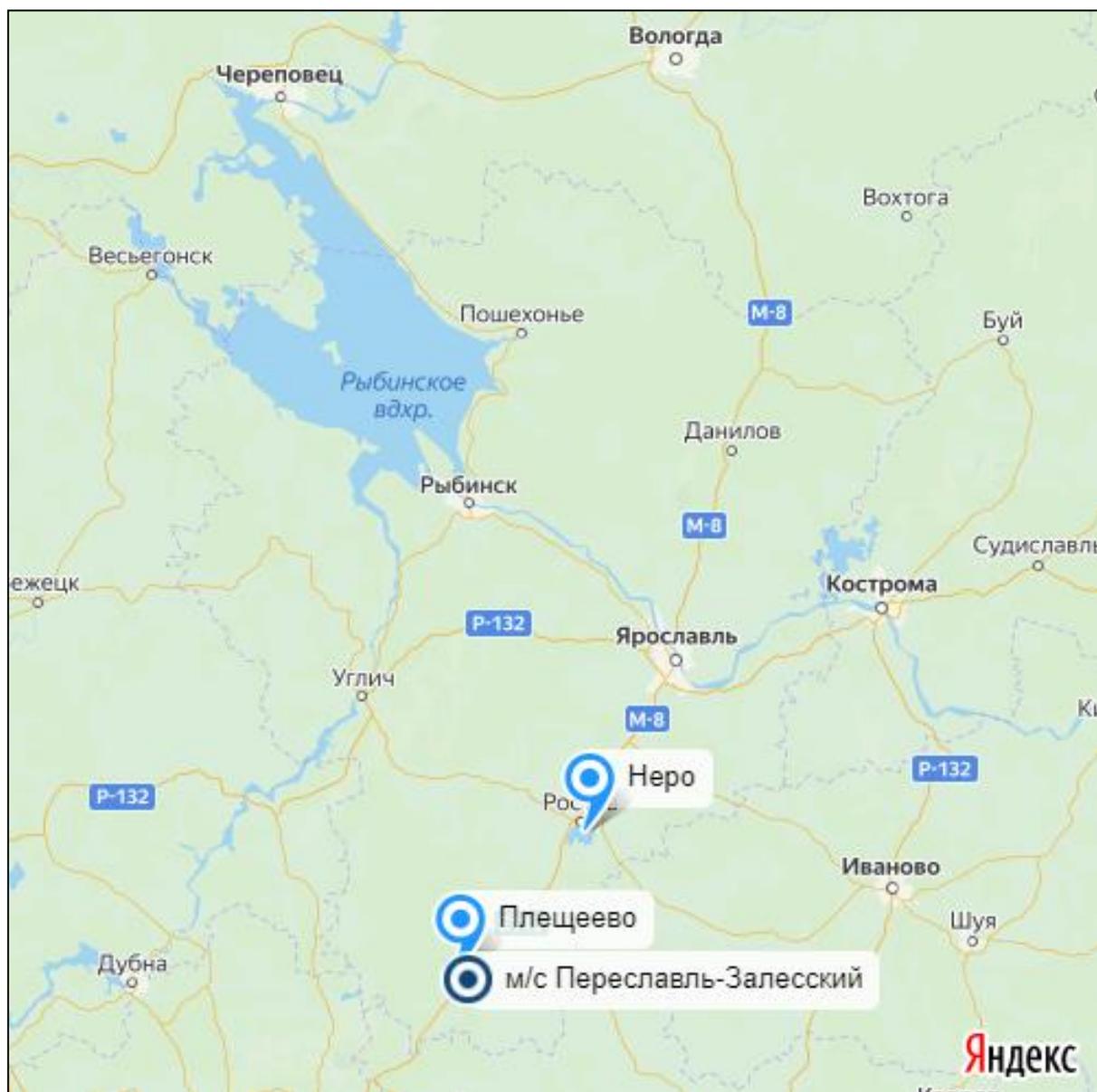


Рисунок 2 – Схема гидрометеорологической изученности.

Основные характеристики озер и постов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики озер и постов

Название озера – пункт наблюдения	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Высотная отметка нуля поста, м БС	Период наблюдений
оз. Плещеево – г. Переславль-Залесский	50.8	425	136.92	1930 – 2016
оз. Неро – г. Ростов	54.4	1220	92.72	1930 – 2016

Согласно данным таблицы 1, ряд наблюдений на озерах Плещеево и Неро содержит данные с 1930 года по 2016, таким образом, длина ряда наблюдений составляет 87 лет. Согласно классификации Иванова данные объекты относятся к средним озерам, так площадь водной поверхности составляет более 50 км<sup>2</sup>.

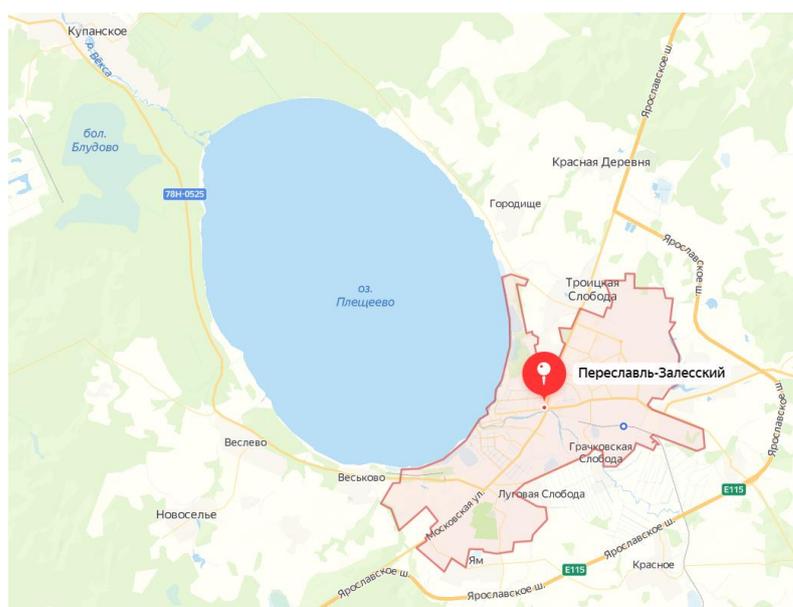


Рисунок 3 – Город Переславль-Залесский на карте.

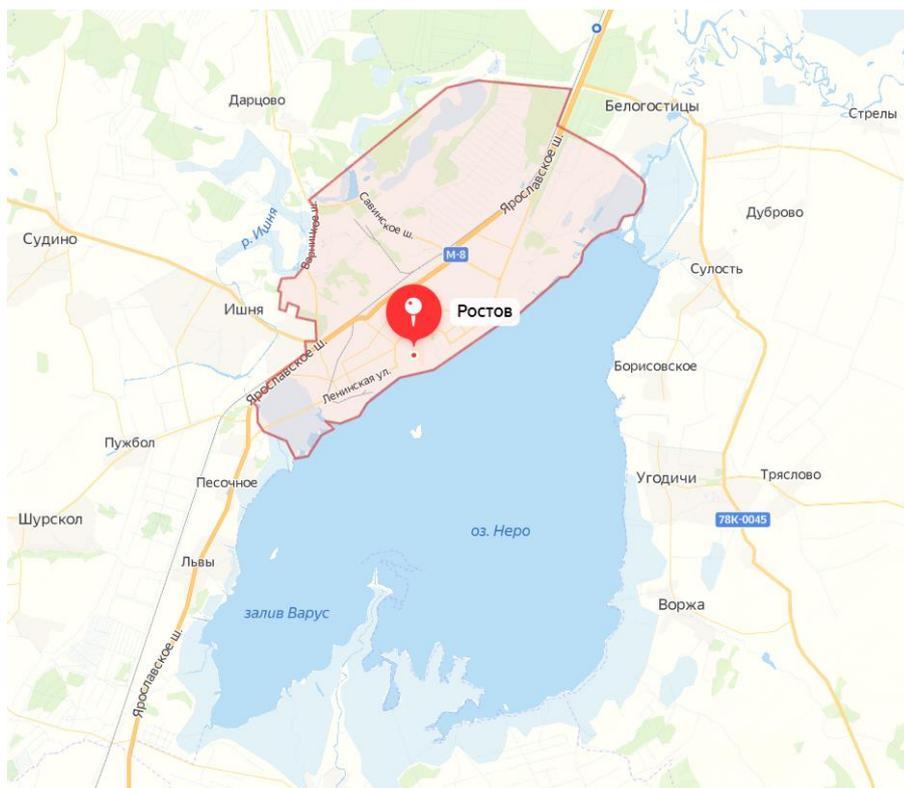


Рисунок 4 – Город Ростов на карте.

Для изучения климатических особенностей района использовались данные наблюдений за значениями средней годовой температурой воздуха и годовыми суммами осадков по метеостанции, расположенной в г. Переславль-Залесский. Данные о метеостанции представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сведения о метеостанции Переславль-Залесский

Индекс ВМО	Название метеостанции	Период наблюдений		Высота станции над уровнем моря, м
		Температура	Осадки	
27425	Переславль-Залесский	1934-2020	1966-2020	176

Метеорологическую станцию Переславль-Залесский организовали в 1919 году. Ее основал Переславский отдел народного образования при краеведческом музее. Первоначально она была расположена на территории

бывшего монастыря в Федоровской слободе. В 1938 году метеорологическую станцию перенесли, где она располагается по сей день.

Станция Переславль-Залесский расположена на приподнятом плато юго-восточного коренного берега озера Плещеево.

Измерения на метеорологической станции производят круглосуточно, каждые три часа. Наблюдения проводятся за различными метеорологическими явлениями: за атмосферными явлениями и осадками, за высотой снежного покрова, за температурным режимом почвы и воздуха, за радиационным фоном и за фазами развития сельскохозяйственных культур.

Ежемесячно на метеостанции производят отбор проб осадков, в марте отбирают снег, а анализ на наличие пестицидов в почве проводят весной и осенью.

### 3 Методы исследования

Расчет числовых характеристик является корректным в том случае, если ряд является однородным. В свою очередь однородность рядов сохраняется тогда, когда условия формирования стока не изменяются.

Проверка на однородность производится при помощи специальных тестов – критериев однородности.

На практике для проверки однородности гидрологических рядов используют два типа критериев – 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.

Непараметрические критерии базируются на использовании непараметрических статистик [2].

В настоящей работе были использованы критерии Фишера и Стьюдента, которые относятся к параметрическим критериям.

Проверка рядов на однородность производится при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ . Для проверки однородности ряд необходимо разделить на две части и для каждой части рассчитать среднее значение, среднеквадратическое отклонение и дисперсия.

### 3.1 Критерий Стьюдента

Критерий Стьюдента предполагает проверку однородности ряда по среднему значению. Ряд считается однородным, если у двух частей ряда средние значения отличаются незначительно.

Эмпирическое значение рассчитывается по формуле:

$$t^* = \frac{(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2)}{\sqrt{\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2)\sigma_2^2}{n_1+n_2-2}}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (1)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – длина первой и второй частей ряда;

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

$\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – среднеквадратическое отклонение по первой и второй частям ряда.

Эмпирическое значение статистики Стьюдента сравнивается с теоретическим, которое в свою очередь зависит от числа степеней свободы и принятого уровня значимости. В случае, если эмпирическое значение меньше теоретического, тогда нулевая гипотеза не оправдывается, и, следовательно, ряд считается однородным [2].

### 3.2 Критерий Фишера

Критерий Фишера основывается на предположении, что у двух частей ряда значения дисперсий одинаковые.

Эмпирическое значение критерия Фишера рассчитывается по формуле:

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad (2)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – дисперсии по одной и другой частям ряда.  $D_1$  – большая из дисперсий.

Полученное значение необходимо сравнить с теоретическим значением, которое определяется по специальным таблицам для определенного уровня значимости. В случае, если эмпирическое значение меньше теоретического, то расхождение дисперсий считается незначимым и гипотеза об однородности ряда по дисперсии не опровергается [2].

Результаты проверки рядов среднегодовых уровней воды представлены в таблицах 3 – 4.

Таблица 3 – Результаты проверки рядов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента для среднегодовых уровней воды озера Неро при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$

Критерий	Значение статистики		Нулевая гипотеза	
	Эмпирическое	Теоретическое	Содержание	Результат
Стьюдента	15.3	1.99	$\bar{H}_1 = \bar{H}_2$	Опровергается
Фишера	2.28	1.85	$D_1 = D_2$	Опровергается

Таблица 4 – Результаты проверки рядов на однородность по критериям Фишера и Стьюдента для среднегодовых уровней воды озера Плещеево при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$

Критерий	Значение статистики		Нулевая гипотеза	
	Эмпирическое	Теоретическое	Содержание	Результат
Стьюдента	13.4	1.99	$\bar{H}_1 = \bar{H}_2$	Опровергается
Фишера	1.24	1.92	$D_1 = D_2$	Не опровергается

Анализируя таблицы 3 и 4, можно сказать, что ряд среднегодовых уровней на озере Неро является неоднородным по критериям Фишера и Стьюдента. На озере Плещеево ряд является однородным по критерию Фишера, то есть дисперсии практически не изменились в двух частях ряда. По критерию Стьюдента ряд является неоднородным.

### 3.3 Разностные интегральные кривые

Разностная интегральная кривая представляет собой нарастающую сумму отклонений модульных коэффициентов от среднего многолетнего значения временного ряда на конец каждого года [3].

Разностные интегральные кривые представляют собой зависимость следующего вида:

$$f(t) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (k - 1)}{Cv} \quad (3)$$

где  $k$  – модульный коэффициент;

$Cv$  – коэффициент вариации ряда.

### 3.4 Значимость трендов

Оценка тренда осуществляется при помощи статистики Стьюдента по следующему выражению:

$$\frac{|R|}{\sigma_R} \leq t_{2\alpha=5\%}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}}$$

где  $n$  – длина ряда;  $R$  – коэффициент корреляции;  $\sigma_R$  – среднеквадратическое отклонение;  $t_{2\alpha=5\%}$  – статистика Стьюдента при уровне значимости  $2\alpha = 5\%$ .

При выполнении условия (4), условие значимости не опровергается, и, следовательно, тренд является статистически незначимым. В противном случае, если данное условие опровергается, то тренд является значимым [4].

#### 4 Анализ полученных результатов

Для анализа изменчивости средней годовой температуры воздуха и годовой суммы осадков по данным метеостанции Переславль-Залесский были построены хронологические графики и проведена оценка статистической значимости трендов. Полученные графики представлены на рисунках 5 – 6.

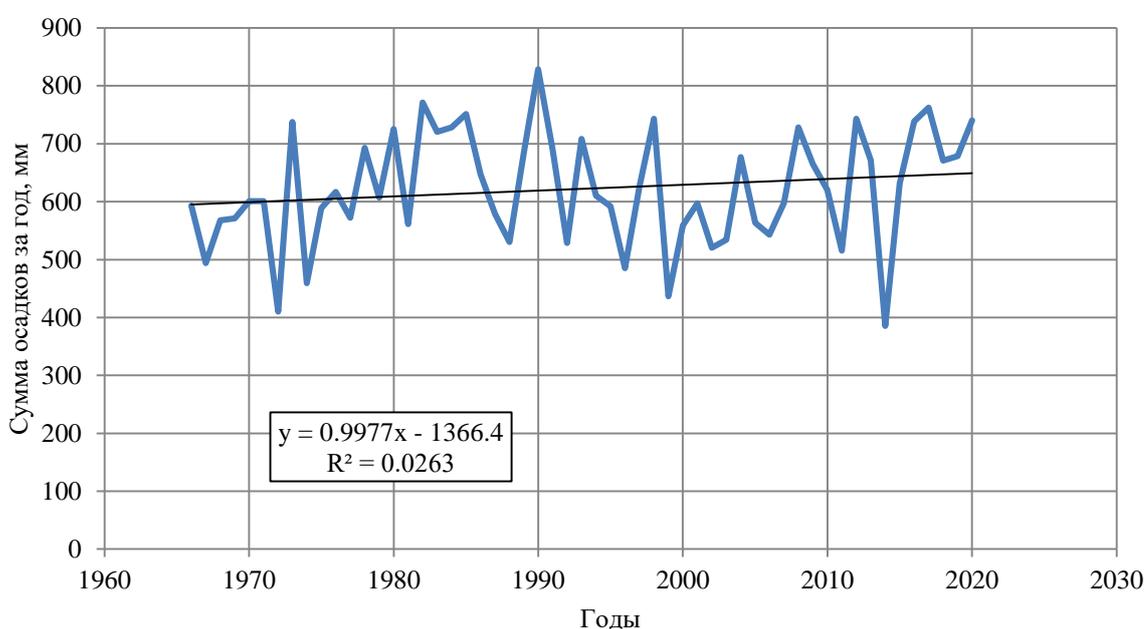


Рисунок 5 – Хронологический график хода сумм осадков за год на м/с Переславль-Залесский.

Из рисунка 1 видно, что количество осадков в год растет. Увеличение осадков составляет около 10 мм за 10 лет. Средняя многолетняя сумма осадков составляет 622 мм. Статистически значимый тренд не выявлен. Результаты анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Оценка значимости тренда сумм осадков за год

n	R <sup>2</sup>	R	$\sigma_R$	$ R /\sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	$H_0: R = 0$	Значимость тренда
55	0.03	0.16	0.14	1.20	2.01	не опр	тренд незначим

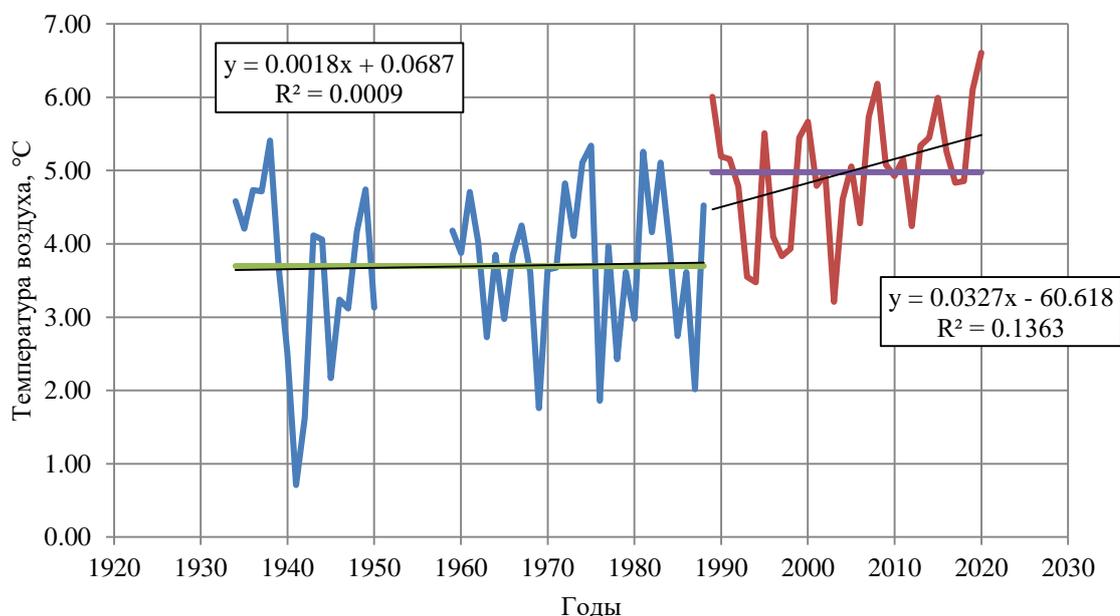


Рисунок 6 – Хронологический график ряда среднегодовых температур воздуха на м/с Переславль-Залесский.

Из графика видно, что до 1988 года статистически значимый тренд отсутствует, а после 1988 года происходит резкий рост значений средней годовой температуры воздуха. Средняя скорость изменений после 1988 года составляет 0.3°C за 10 лет. Среднее многолетнее значение средних годовых температур воздуха за период с 1934 по 1988 составляет 3.70°C. После оно увеличивается на 1.22°C см и равно 4.98°C. Оценка значимости трендов за два периода представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Оценка значимости трендов среднегодовых температур воздуха

Период	n	R <sup>2</sup>	R	$\sigma_R$	$ R  / \sigma_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	$H_0: R = 0$	Значимость тренда
1934-1988	47	0.0009	0.03	0.15	0.20	2.01	не опр	тренд незначим
1989-2020	32	0.14	0.37	0.17	2.18	2.04	опр	тренд значим

Для выявления года, когда произошли изменения в рядах данных наблюдений за средними годовыми температурами воздуха и годовыми суммами осадков были построены разностно-интегральные кривые по температуре и осадкам, рисунки 7 – 8.

Для построения разностных интегральных кривых необходимо заполнить вспомогательные таблицы 7 и 8.

Таблица 7 – Расчет координат разностной интегральной кривой сумм осадков за год

Год	$X_i$	$k = X_i / X_{ср}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum X$
1965				0	0.00	0
1966	593	0.95	-0.05	-0.05	-0.29	593
1967	494	0.79	-0.21	-0.25	-1.59	1087
1968	568	0.91	-0.09	-0.34	-2.14	1655
1969	571	0.92	-0.08	-0.42	-2.65	2226
1970	601	0.97	-0.03	-0.45	-2.87	2827
1971	601	0.97	-0.03	-0.49	-3.08	3428
1972	410	0.66	-0.34	-0.83	-5.23	3838
1973	738	1.19	0.19	-0.64	-4.05	4576
1974	459	0.74	-0.26	-0.90	-5.70	5035
1975	589	0.95	-0.05	-0.96	-6.04	5624
1976	617	0.99	-0.01	-0.97	-6.09	6241
1977	572	0.92	-0.08	-1.05	-6.59	6813
1978	693	1.11	0.11	-0.93	-5.87	7506
1979	607	0.98	-0.02	-0.96	-6.02	8113
1980	726	1.17	0.17	-0.79	-4.97	8839
1981	561	0.90	-0.10	-0.89	-5.59	9400
1982	771	1.24	0.24	-0.65	-4.08	10171
1983	720	1.16	0.16	-0.49	-3.08	10892
1984	728	1.17	0.17	-0.32	-2.00	11620

Год	$X_i$	$k = X_i/X_{cp}$	$k-1$	$\Sigma(k-1)$	$\Sigma(k-1)/C_v$	$\Sigma X$
1985	751	1.21	0.21	-0.11	-0.69	12371
1986	648	1.04	0.04	-0.07	-0.43	13019
1987	579	0.93	-0.07	-0.14	-0.87	13598
1988	531	0.85	-0.15	-0.28	-1.80	14128
1989	686	1.10	0.10	-0.18	-1.15	14814
1990	829	1.33	0.33	0.15	0.95	15643
1991	690	1.11	0.11	0.26	1.64	16333
1992	529	0.85	-0.15	0.11	0.69	16862
1993	709	1.14	0.14	0.25	1.57	17570
1994	610	0.98	-0.02	0.23	1.45	18180
1995	592	0.95	-0.05	0.18	1.15	18772
1996	485	0.78	-0.22	-0.04	-0.24	19258
1997	627	1.01	0.01	-0.03	-0.19	19884
1998	743	1.19	0.19	0.16	1.03	20627
1999	437	0.70	-0.30	-0.13	-0.84	21064
2000	559	0.90	-0.10	-0.23	-1.48	21623
2001	597	0.96	-0.04	-0.27	-1.73	22220
2002	521	0.84	-0.16	-0.44	-2.76	22740
2003	534	0.86	-0.14	-0.58	-3.65	23275
2004	677	1.09	0.09	-0.49	-3.09	23952
2005	563	0.91	-0.09	-0.58	-3.68	24515
2006	543	0.87	-0.13	-0.71	-4.48	25058
2007	598	0.96	-0.04	-0.75	-4.73	25656
2008	728	1.17	0.17	-0.58	-3.65	26384
2009	665	1.07	0.07	-0.51	-3.22	27049
2010	620	1.00	0.00	-0.51	-3.24	27669
2011	516	0.83	-0.17	-0.68	-4.32	28185
2012	743	1.19	0.19	-0.49	-3.09	28928
2013	672	1.08	0.08	-0.41	-2.58	29600
2014	385	0.62	-0.38	-0.79	-4.98	29985
2015	632	1.02	0.02	-0.77	-4.88	30617
2016	739	1.19	0.19	-0.59	-3.70	31356
2017	763	1.23	0.23	-0.36	-2.27	32118
2018	671	1.08	0.08	-0.28	-1.78	32789
2019	679	1.09	0.09	-0.19	-1.20	33468
2020	740	1.19	0.19	0.00	0.00	34208

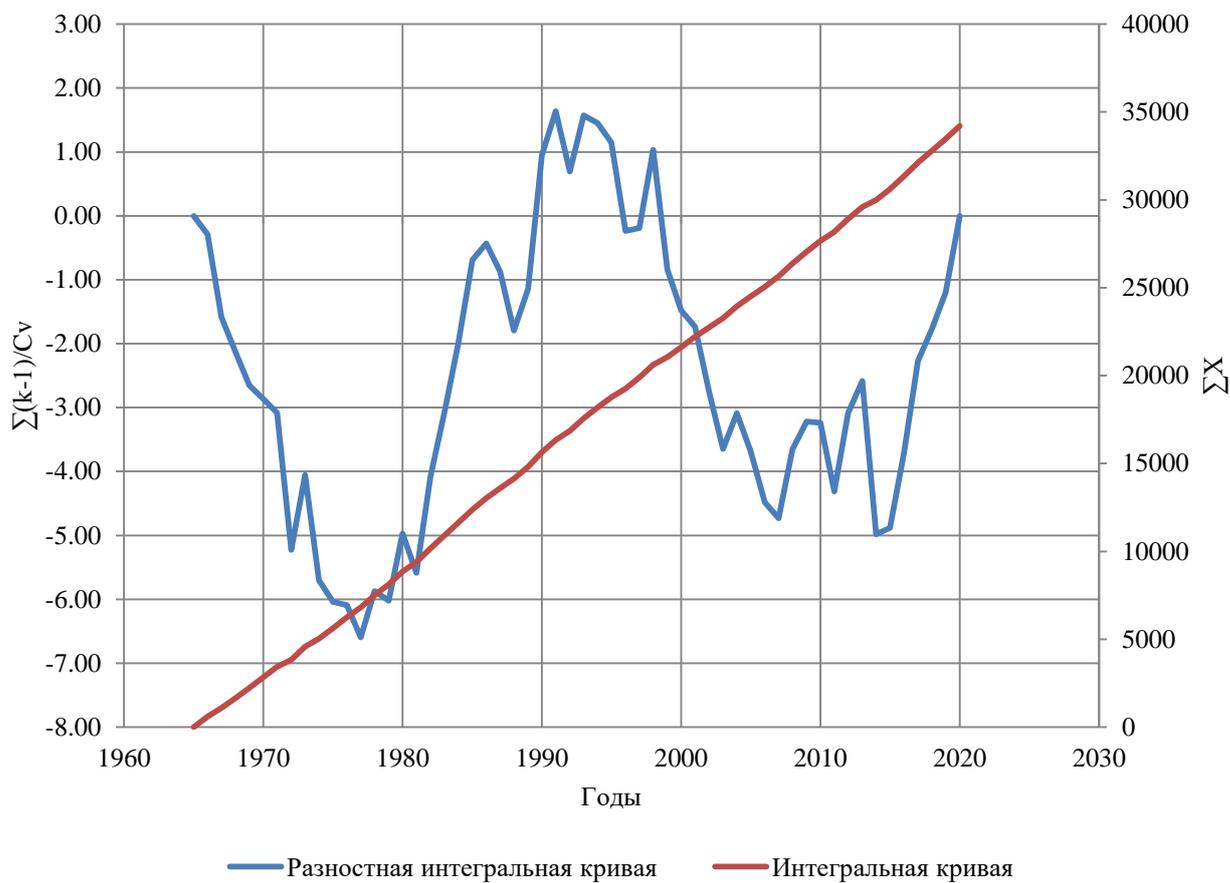


Рисунок 7 – Разностная интегральная и интегральная кривые ряда сумм осадков за год.

Из рисунка 7 видно, что изменение в количестве осадков происходит в 1977 году. В период с 1978 по 1998 годы количество осадков за год растет. Затем, с 1999 по 2015 годы количество осадков уменьшается.

Таблица 8 – Расчет координат разностной интегральной кривой средних годовых температур воздуха

Год	$t_i$	$k = t_i/t_{cp}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum t$
1958				0	0.00	0
1959	4	0.95	-0.05	-0.05	-0.19	4
1960	4	0.88	-0.12	-0.16	-0.66	8
1961	5	1.07	0.07	-0.09	-0.37	13
1962	4	0.92	-0.08	-0.17	-0.70	17
1963	3	0.62	-0.38	-0.55	-2.23	20
1964	4	0.88	-0.12	-0.68	-2.73	23
1965	3	0.68	-0.32	-1.00	-4.03	26
1966	4	0.88	-0.12	-1.12	-4.52	30
1967	4	0.97	-0.03	-1.15	-4.65	34
1968	4	0.82	-0.18	-1.33	-5.37	38
1969	2	0.40	-0.60	-1.93	-7.79	40
1970	4	0.83	-0.17	-2.10	-8.47	43
1971	4	0.84	-0.16	-2.26	-9.12	47
1972	5	1.10	0.10	-2.16	-8.72	52
1973	4	0.94	-0.06	-2.23	-8.98	56
1974	5	1.16	0.16	-2.06	-8.32	61
1975	5	1.22	0.22	-1.85	-7.44	67
1976	2	0.42	-0.58	-2.42	-9.77	68
1977	4	0.90	-0.10	-2.52	-10.16	72
1978	2	0.55	-0.45	-2.97	-11.96	75
1979	4	0.82	-0.18	-3.14	-12.67	78
1980	3	0.68	-0.32	-3.46	-13.97	81
1981	5	1.20	0.20	-3.27	-13.17	87
1982	4	0.95	-0.05	-3.32	-13.39	91
1983	5	1.16	0.16	-3.16	-12.73	96
1984	4	0.92	-0.08	-3.24	-13.07	100
1985	3	0.62	-0.38	-3.62	-14.58	103
1986	4	0.82	-0.18	-3.79	-15.29	106
1987	2	0.46	-0.54	-4.33	-17.47	108
1988	5	1.03	0.03	-4.30	-17.35	113
1989	6	1.37	0.37	-3.93	-15.86	119
1990	5	1.18	0.18	-3.75	-15.12	124
1991	5	1.18	0.18	-3.57	-14.42	129
1992	5	1.09	0.09	-3.48	-14.05	134
1993	4	0.81	-0.19	-3.68	-14.83	137
1994	3	0.79	-0.21	-3.88	-15.67	141
1995	6	1.25	0.25	-3.63	-14.64	146
1996	4	0.93	-0.07	-3.69	-14.90	151

Год	$t_i$	$k = t_i/t_{cp}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum t$
1997	4	0.87	-0.13	-3.82	-15.41	154
1998	4	0.90	-0.10	-3.93	-15.83	158
1999	5	1.24	0.24	-3.68	-14.86	164
2000	6	1.29	0.29	-3.39	-13.68	169
2001	5	1.09	0.09	-3.30	-13.31	174
2002	5	1.13	0.13	-3.17	-12.79	179
2003	3	0.73	-0.27	-3.44	-13.88	182
2004	5	1.05	0.05	-3.39	-13.67	187
2005	5	1.15	0.15	-3.24	-13.06	192
2006	4	0.98	-0.02	-3.26	-13.16	196
2007	6	1.31	0.31	-2.96	-11.92	202
2008	6	1.41	0.41	-2.55	-10.27	208
2009	5	1.16	0.16	-2.39	-9.64	213
2010	5	1.12	0.12	-2.27	-9.14	218
2011	5	1.18	0.18	-2.09	-8.44	223
2012	4	0.97	-0.03	-2.13	-8.57	228
2013	5	1.22	0.22	-1.91	-7.70	233
2014	5	1.24	0.24	-1.67	-6.72	238
2015	6	1.37	0.37	-1.30	-5.25	244
2016	5	1.20	0.20	-1.10	-4.45	250
2017	5	1.10	0.10	-1.00	-4.04	255
2018	5	1.11	0.11	-0.90	-3.61	259
2019	6	1.39	0.39	-0.51	-2.04	266
2020	7	1.51	0.51	0.00	0.00	272

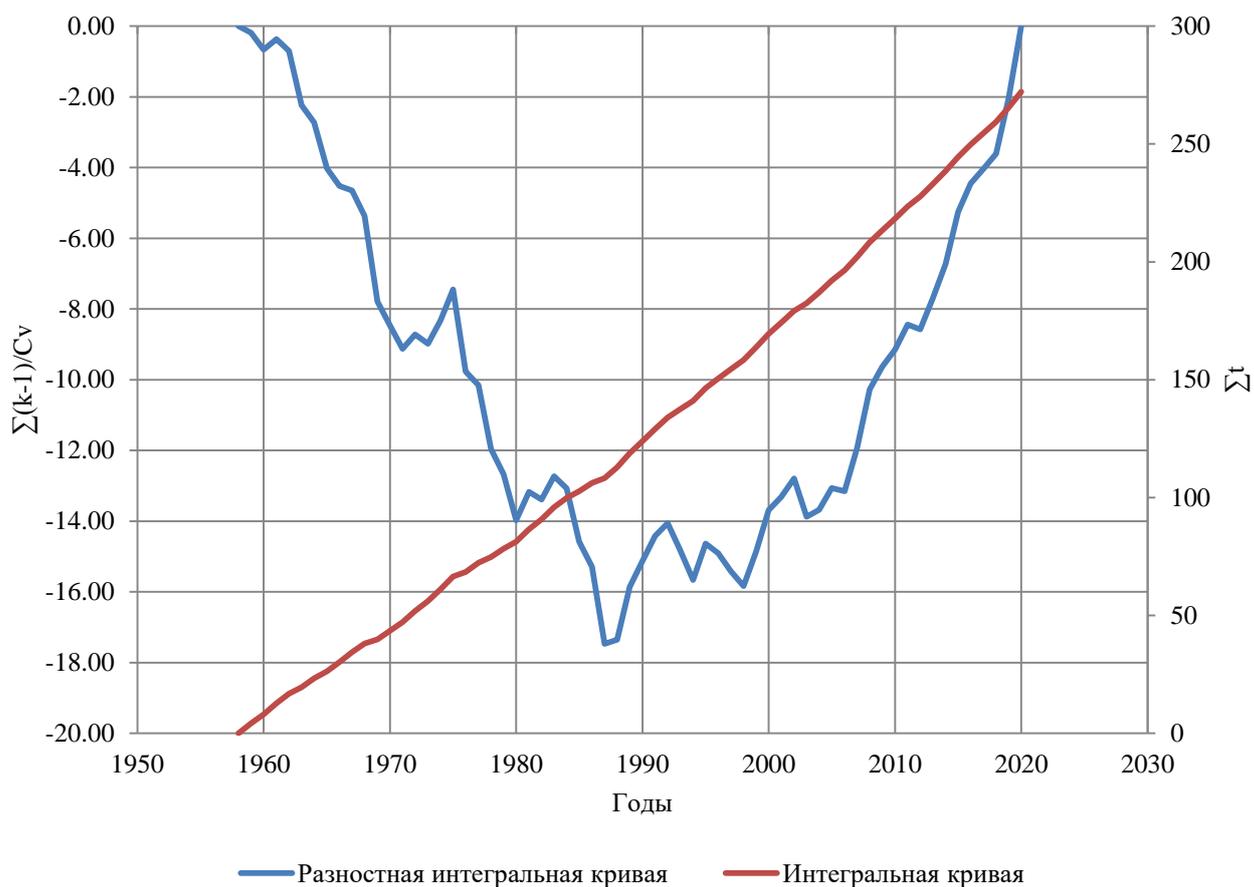


Рисунок 8 – Разностная интегральная и интегральная кривые ряда температур воздуха.

В период с начала наблюдений по 1988 года наблюдается уменьшение температур. Изменения в температуре воздуха происходят в 1988 году, после чего среднегодовая температура воздуха начинает расти.

Для анализа многолетней изменчивости уровня воды в озерах были построены хронологические графики хода средних годовых уровней воды по данным наблюдений на гидрологических постах, расположенных в г. Переславль-Залесский (оз. Плещеево) и в г. Ростов (оз. Неро). На рисунках 9 – 10 представлены хронологические графики хода уровней на озерах Неро – г. Ростов и Плещеево – г. Переславль-Залесский соответственно.

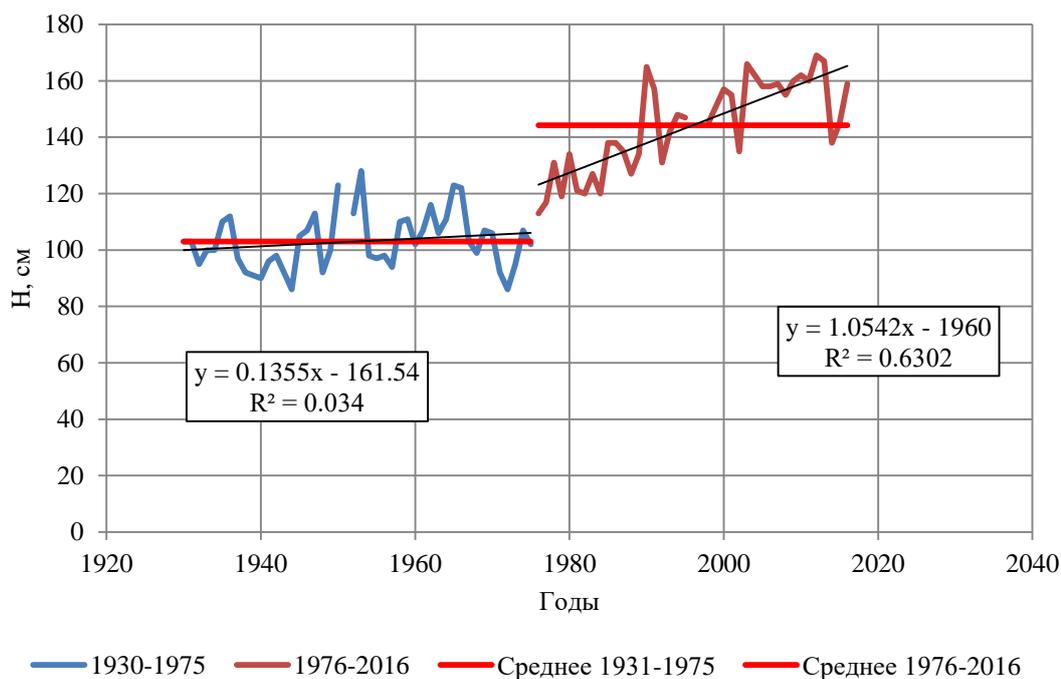


Рисунок 9 – Хронологический график хода уровней воды оз. Неро – г. Ростов.

На графике видно, что в 1976 году произошло резкое увеличение средних годовых уровней воды. До 1975 года тренд статистически незначим. После 1976 года выявлен статистически значимый тренд на повышение. Средняя скорость изменений составляет 10.5 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение среднего годового уровня воды за период с 1930 по 1975 составляет 103 см. После оно увеличивается на 41 см и равно 144 см. В таблице 7 представлена оценка значимости трендов по двум периодам.

Таблица 9 – Оценка значимости трендов среднегодовых уровней воды на оз.

Неро – г. Ростов

Уровни воды	n	R <sup>2</sup>	R	s <sub>R</sub>	R /s <sub>R</sub>	t <sub>2α=5%</sub>	H <sub>0</sub> : R = 0	Значимость тренда
Среднегодовые уровни оз. Неро (период 1930 - 1975)	45	0.03	0.18	0.15	1.23	2.02	не опр	тренд незначим
Среднегодовые уровни оз. Неро (период 1976 - 2016)	39	0.63	0.79	0.10	7.94	2.03	опр	тренд значим

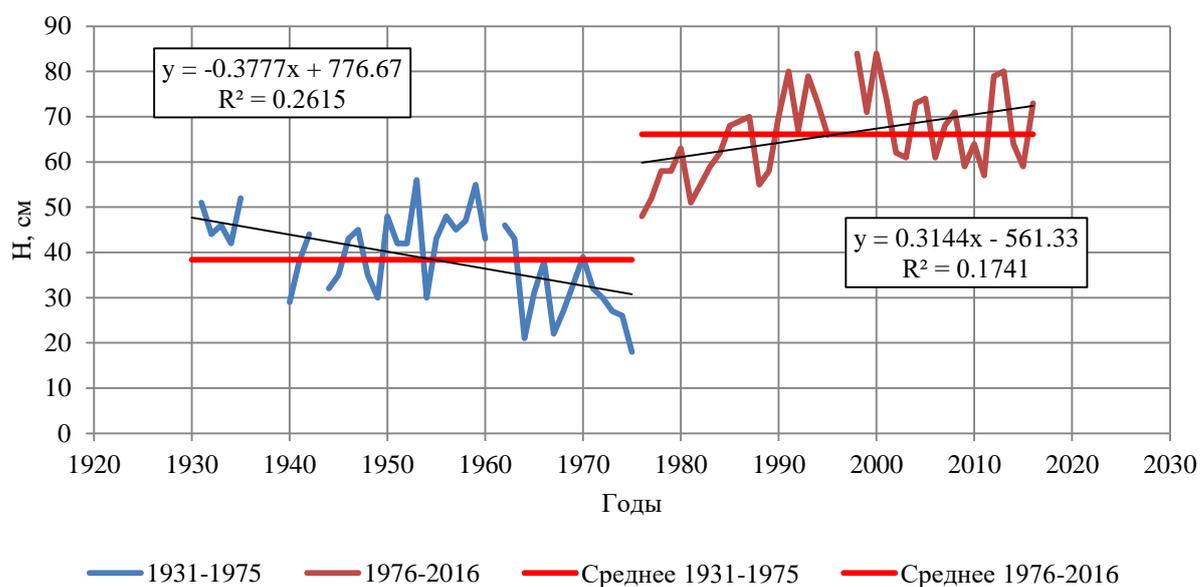


Рисунок 10 – Хронологический график хода среднегодовых уровней воды оз. Плещеево – г. Переславль-Залесский.

Анализируя рисунок 10, можно сказать о том, что за период с 1930 по 1975 год наблюдается статистически значимый тренд на понижение. В 1976 году произошло резкое изменение среднегодовых уровней воды. За период с 1976 по 2016 гг. выявлен тренд на повышение, который также является статистически значимым. Средняя скорость изменений составляет 3.1 см за 10 лет. Среднее многолетнее значение среднего годового уровня воды за период 1930 – 1975 составляет 38 см. После оно увеличивается на 28 см и составляет 66 см. Оценка значимости трендов приведены в таблице 8.

Таблица 10 – Оценка значимости трендов среднегодовых уровней воды на оз. Плещеево – г. Переславль-Залесский

Уровни воды	n	$R^2$	R	$s_R$	$ R /s_R$	$t_{2\alpha=5\%}$	$H_0: R = 0$	Значимость тренда
Среднегодовые уровни оз. Плещеево (период 1930 - 1975)	39	0.26	0.51	0.14	3.62	2.03	опр	тренд значим
Среднегодовые уровни оз. Плещеево (период 1976 - 2016)	39	0.17	0.42	0.15	2.79	2.03	опр	тренд значим

Год, когда именно произошли изменения в уровненом режиме исследуемых озер, можно определить по разностным интегральным кривым, координаты которых представлены в таблицах 11 – 12. По данным этих таблиц построены разностные интегральные кривые для среднегодовых уровней воды озер Неро и Плещеево, рисунки 11 – 12.

Таблица 11 – Расчет координат разностной интегральной кривой средних годовых уровней воды в оз. Неро – г. Ростов

Год	$H_i$	$k = H_i/H_{cp}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum H$
1929				0.00	0.00	0
1930	103	0.84	-0.16	-0.16	-0.78	103
1931	103	0.84	-0.16	-0.31	-1.56	206
1932	95	0.78	-0.22	-0.54	-2.67	301
1933	100	0.82	-0.18	-0.72	-3.58	401
1934	100	0.82	-0.18	-0.90	-4.48	501
1935	110	0.90	-0.10	-1.00	-4.98	611
1936	112	0.92	-0.08	-1.08	-5.39	723
1937	97	0.79	-0.21	-1.29	-6.42	820
1938	92	0.75	-0.25	-1.54	-7.65	912
1939	91	0.74	-0.26	-1.79	-8.92	1003
1940	90	0.74	-0.26	-2.05	-10.24	1093
1941	96	0.79	-0.21	-2.27	-11.30	1189
1942	98	0.80	-0.20	-2.47	-12.29	1287
1943	92	0.75	-0.25	-2.71	-13.52	1379
1944	86	0.70	-0.30	-3.01	-15.00	1465
1945	105	0.86	-0.14	-3.15	-15.70	1570
1946	107	0.88	-0.12	-3.27	-16.32	1677
1947	113	0.92	-0.08	-3.35	-16.69	1790
1948	92	0.75	-0.25	-3.60	-17.92	1882
1949	100	0.82	-0.18	-3.78	-18.83	1982
1950	123	1.01	0.01	-3.77	-18.79	2105
1952	113	0.92	-0.08	-3.85	-19.17	2218
1953	128	1.05	0.05	-3.80	-18.93	2346
1954	98	0.80	-0.20	-4.00	-19.91	2444
1955	97	0.79	-0.21	-4.20	-20.94	2541
1956	98	0.80	-0.20	-4.40	-21.93	2639
1957	94	0.77	-0.23	-4.63	-23.08	2733
1958	110	0.90	-0.10	-4.73	-23.57	2843
1959	111	0.91	-0.09	-4.82	-24.03	2954
1960	102	0.83	-0.17	-4.99	-24.85	3056
1961	107	0.88	-0.12	-5.11	-25.47	3163
1962	116	0.95	-0.05	-5.16	-25.72	3279
1963	106	0.87	-0.13	-5.29	-26.38	3385
1964	111	0.91	-0.09	-5.39	-26.84	3496
1965	123	1.01	0.01	-5.38	-26.81	3619
1966	122	1.00	0.00	-5.38	-26.81	3741
1967	103	0.84	-0.16	-5.54	-27.60	3844
1968	99	0.81	-0.19	-5.73	-28.54	3943
1969	107	0.88	-0.12	-5.85	-29.16	4050
1970	106	0.87	-0.13	-5.98	-29.82	4156
1971	92	0.75	-0.25	-6.23	-31.05	4248
1972	86	0.70	-0.30	-6.53	-32.53	4334
1973	95	0.78	-0.22	-6.75	-33.63	4429
1974	107	0.88	-0.12	-6.87	-34.25	4536

Год	$H_i$	$k = H_i/H_{cp}$	$k-1$	$\Sigma(k-1)$	$\Sigma(k-1)/C_v$	$\Sigma H$
1975	102	0.83	-0.17	-7.04	-35.08	4638
1976	113	0.92	-0.08	-7.11	-35.45	4751
1977	117	0.96	-0.04	-7.16	-35.66	4868
1978	131	1.07	0.07	-7.08	-35.30	4999
1979	119	0.97	-0.03	-7.11	-35.43	5118
1980	134	1.10	0.10	-7.01	-34.95	5252
1981	121	0.99	-0.01	-7.02	-35.00	5373
1982	120	0.98	-0.02	-7.04	-35.09	5493
1983	127	1.04	0.04	-7.00	-34.89	5620
1984	120	0.98	-0.02	-7.02	-34.98	5740
1985	138	1.13	0.13	-6.89	-34.33	5878
1986	138	1.13	0.13	-6.76	-33.69	6016
1987	135	1.10	0.10	-6.66	-33.17	6151
1988	127	1.04	0.04	-6.62	-32.97	6278
1989	134	1.10	0.10	-6.52	-32.49	6412
1990	165	1.35	0.35	-6.17	-30.74	6577
1991	157	1.29	0.29	-5.88	-29.32	6734
1992	131	1.07	0.07	-5.81	-28.96	6865
1993	142	1.16	0.16	-5.65	-28.15	7007
1994	148	1.21	0.21	-5.44	-27.10	7155
1995	147	1.20	0.20	-5.24	-26.09	7302
1998	145	1.19	0.19	-5.05	-25.16	7447
1999	151	1.24	0.24	-4.81	-23.98	7598
2000	157	1.29	0.29	-4.53	-22.56	7755
2001	155	1.27	0.27	-4.26	-21.22	7910
2002	135	1.10	0.10	-4.15	-20.70	8045
2003	166	1.36	0.36	-3.80	-18.91	8211
2004	162	1.33	0.33	-3.47	-17.29	8373
2005	158	1.29	0.29	-3.18	-15.83	8531
2006	158	1.29	0.29	-2.88	-14.37	8689
2007	159	1.30	0.30	-2.58	-12.86	8848
2008	155	1.27	0.27	-2.31	-11.52	9003
2009	160	1.31	0.31	-2.00	-9.98	9163
2010	162	1.33	0.33	-1.68	-8.36	9325
2011	160	1.31	0.31	-1.37	-6.82	9485
2012	169	1.38	0.38	-0.98	-4.91	9654
2013	167	1.37	0.37	-0.62	-3.08	9821
2014	138	1.13	0.13	-0.49	-2.43	9959
2015	145	1.19	0.19	-0.30	-1.50	10104
2016	159	1.30	0.30	0.00	0.00	10263

Таблица 12 – Расчет координат разностной интегральной кривой средних годовых уровней воды в оз. Плещеево – г. Переславль-Залесский

Год	$H_i$	$k = H_i/H_{cp}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum H$
1930				0.00	0.00	0
1931	51	0.98	-0.02	-0.02	-0.08	51
1932	44	0.84	-0.16	-0.18	-0.57	95
1933	46	0.88	-0.12	-0.30	-0.94	141
1934	42	0.80	-0.20	-0.50	-1.55	183
1935	52	0.99	-0.01	-0.50	-1.57	235
1940	29	0.55	-0.45	-0.95	-2.96	264
1941	38	0.73	-0.27	-1.22	-3.80	302
1942	44	0.84	-0.16	-1.38	-4.30	346
1944	32	0.61	-0.39	-1.77	-5.50	378
1945	35	0.67	-0.33	-2.10	-6.53	413
1946	43	0.82	-0.18	-2.28	-7.09	456
1947	45	0.86	-0.14	-2.42	-7.52	501
1948	35	0.67	-0.33	-2.75	-8.55	536
1949	30	0.57	-0.43	-3.17	-9.87	566
1950	48	0.92	-0.08	-3.25	-10.13	614
1951	42	0.80	-0.20	-3.45	-10.74	656
1952	42	0.80	-0.20	-3.65	-11.35	698
1953	56	1.07	0.07	-3.57	-11.13	754
1954	30	0.57	-0.43	-4.00	-12.45	784
1955	43	0.82	-0.18	-4.18	-13.01	827
1956	48	0.92	-0.08	-4.26	-13.26	875
1957	45	0.86	-0.14	-4.40	-13.69	920
1958	47	0.90	-0.10	-4.50	-14.01	967
1959	55	1.05	0.05	-4.45	-13.85	1022
1960	43	0.82	-0.18	-4.62	-14.40	1065
1962	46	0.88	-0.12	-4.74	-14.77	1111
1963	43	0.82	-0.18	-4.92	-15.32	1154
1964	21	0.40	-0.60	-5.52	-17.18	1175
1965	31	0.59	-0.41	-5.93	-18.45	1206
1966	38	0.73	-0.27	-6.20	-19.30	1244
1967	22	0.42	-0.58	-6.78	-21.10	1266
1968	27	0.52	-0.48	-7.26	-22.61	1293
1969	33	0.63	-0.37	-7.63	-23.76	1326
1970	39	0.75	-0.25	-7.89	-24.55	1365
1971	32	0.61	-0.39	-8.27	-25.75	1397
1972	30	0.57	-0.43	-8.70	-27.08	1427
1973	27	0.52	-0.48	-9.18	-28.59	1454
1974	26	0.50	-0.50	-9.69	-30.15	1480
1975	18	0.34	-0.66	-10.34	-32.19	1498

Год	$H_i$	$k = H_i/H_{cp}$	$k-1$	$\sum(k-1)$	$\sum(k-1)/C_v$	$\sum H$
1976	48	0.92	-0.08	-10.42	-32.45	1546
1977	52	0.99	-0.01	-10.43	-32.46	1598
1978	58	1.11	0.11	-10.32	-32.12	1656
1979	58	1.11	0.11	-10.21	-31.78	1714
1980	63	1.21	0.21	-10.00	-31.14	1777
1981	51	0.98	-0.02	-10.03	-31.22	1828
1982	55	1.05	0.05	-9.97	-31.05	1883
1983	59	1.13	0.13	-9.85	-30.65	1942
1984	62	1.19	0.19	-9.66	-30.07	2004
1985	68	1.30	0.30	-9.36	-29.14	2072
1986	69	1.32	0.32	-9.04	-28.14	2141
1987	70	1.34	0.34	-8.70	-27.08	2211
1988	55	1.05	0.05	-8.65	-26.92	2266
1989	58	1.11	0.11	-8.54	-26.58	2324
1990	70	1.34	0.34	-8.20	-25.52	2394
1991	80	1.53	0.53	-7.67	-23.87	2474
1992	67	1.28	0.28	-7.39	-22.99	2541
1993	79	1.51	0.51	-6.87	-21.40	2620
1994	73	1.40	0.40	-6.48	-20.17	2693
1995	66	1.26	0.26	-6.22	-19.35	2759
1998	84	1.61	0.61	-5.61	-17.46	2843
1999	71	1.36	0.36	-5.25	-16.34	2914
2000	84	1.61	0.61	-4.64	-14.45	2998
2001	74	1.42	0.42	-4.23	-13.16	3072
2002	62	1.19	0.19	-4.04	-12.58	3134
2003	61	1.17	0.17	-3.87	-12.06	3195
2004	73	1.40	0.40	-3.48	-10.83	3268
2005	74	1.42	0.42	-3.06	-9.53	3342
2006	61	1.17	0.17	-2.89	-9.01	3403
2007	68	1.30	0.30	-2.59	-8.07	3471
2008	71	1.36	0.36	-2.24	-6.96	3542
2009	59	1.13	0.13	-2.11	-6.56	3601
2010	64	1.22	0.22	-1.88	-5.86	3665
2011	57	1.09	0.09	-1.79	-5.58	3722
2012	79	1.51	0.51	-1.28	-3.99	3801
2013	80	1.53	0.53	-0.75	-2.33	3881
2014	64	1.22	0.22	-0.53	-1.64	3945
2015	59	1.13	0.13	-0.40	-1.23	4004
2016	73	1.40	0.40	0.00	0.00	4077

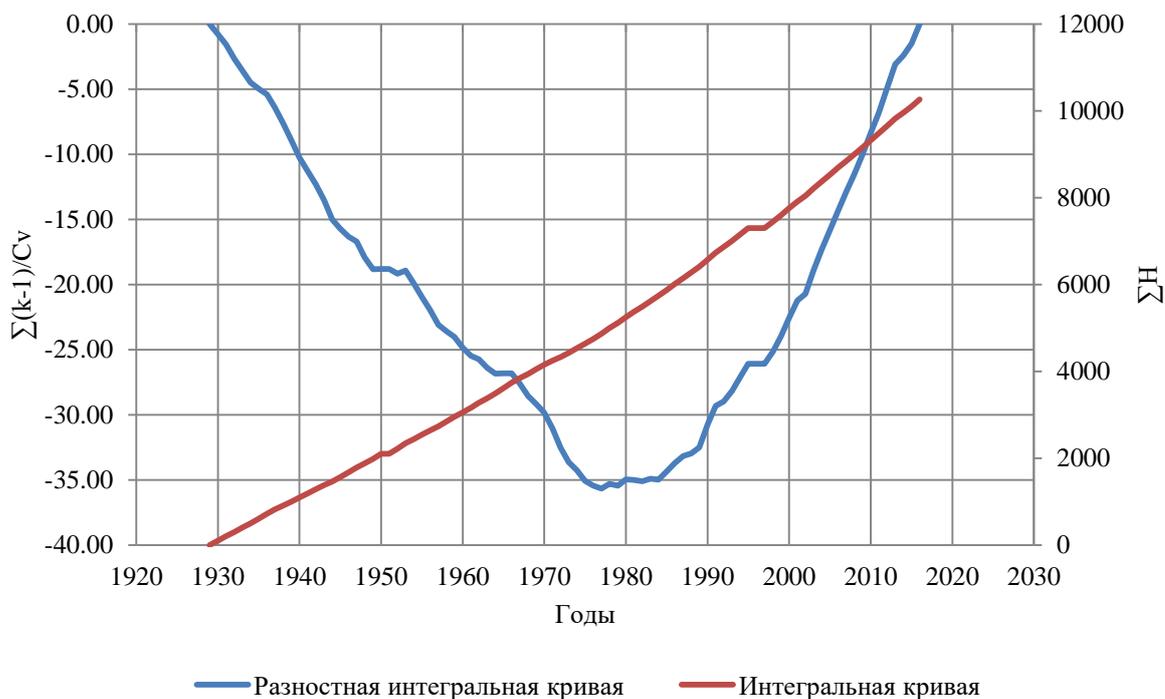


Рисунок 11 – Разностная интегральная и интегральная кривые ряда среднегодовых уровней воды оз. Неро – г. Ростов.

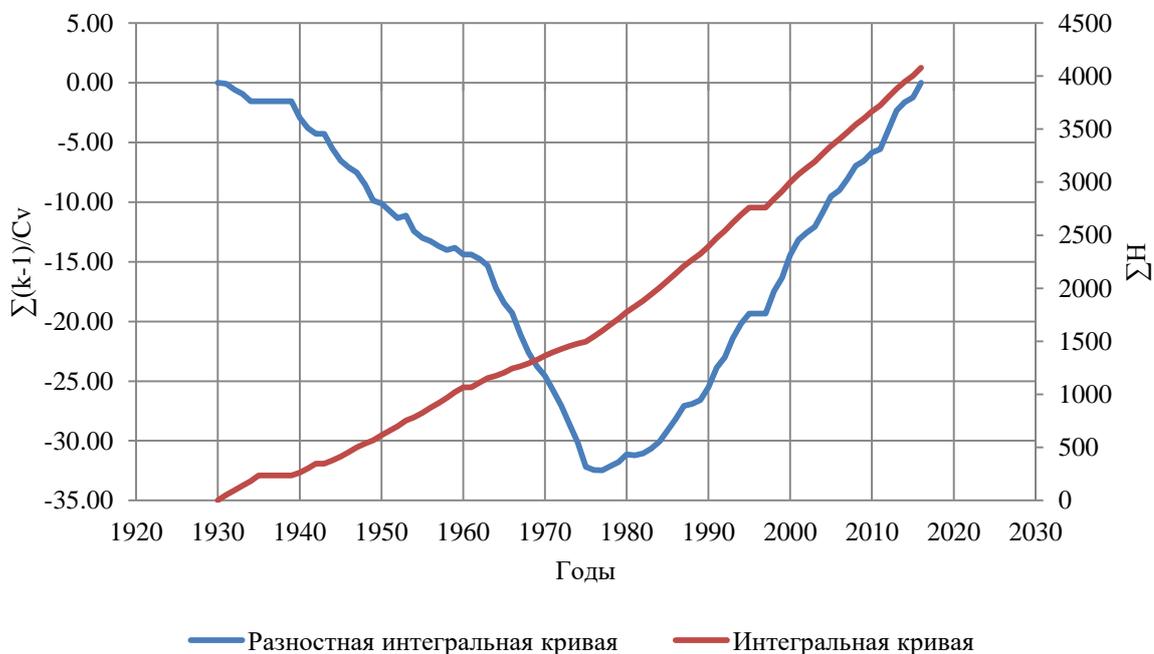


Рисунок 12 – Разностная интегральная и интегральная кривые ряда среднегодовых уровней воды оз. Пleshcheevo – г. Переславль-Залесский.

Как видно из рисунков 11 и 12, а также из таблиц 11 – 12, изменения в уровненом режиме происходят в середине 1970-х годов, главным образом в 1976 году на двух озерах. На озере Неро средний годовой уровень воды в 1976 году повысился на 11 см и составил 113 см, а на озере Плещеево – на 30 см и был равен 48 см.

Анализ метеорологических характеристик показал, что до 1988 года температура имела тенденцию на понижение. В 1976 году средняя годовая температура составила всего  $1.86^{\circ}\text{C}$ , хотя годом ранее температура была выше и была равна  $5.34^{\circ}\text{C}$ . То есть за один год средняя температура воздуха уменьшилась на  $3.48^{\circ}\text{C}$ . Осадки за этот же период увеличились на 28 мм. В 1975 году выпало 589 мм осадков, а в 1976 – 617 мм. Таким образом, данные два фактора могли повлиять на уровеньный режим озер Неро и Плещеево.

## 5 Экологическая составляющая

В озере Плещеево заметно ускорение темпов загрязнения воды. Об этом сообщают специалисты института биологии на сайте Национального парка «Плещеево озеро». В 2020 году при отборе проб воды в озере было установлено, что воды относятся к первому классу – условно чистые воды. Но несмотря на данный факт, существует множество поводов для тревоги.

Изучение экосистем озера Плещеево было проведено в 2014 – 2016 годах, тогда было отмечено, что в озеро поступает все больше и больше биогенных и органических веществ. Кроме того, с 2017 года озеро цветет цианобактериями, которые также называют сине-зелеными водорослями. Они продуцируют токсины, которые могут быть опасными не только для человека, но и для животных и даже растений. Гепаксин, который производит данная цианобактерия, пагубно воздействует на позвоночных. Даже в малых количествах этот токсин способен вызвать диабет второго типа на 50%. Также она способна стимулировать развитие более опасных сине-зеленых водорослей.

Исследователи считают, что причины появления такого типа водорослей может быть связана с различными условиями. Например, изменение климатических составляющих, а именно потепление, способствует росту поверхностной и глубинной температуры воды в озере. Из-за деятельности человека сине-зеленые водоросли получают широкое распространение.

В 2020 году жители Переславля стали отмечать, что из кранов течет вода, которая имеет гнилостный привкус, а также коричневатый цвет. Вода, которая поступает в дома жителей, берется из озера Плещеево. Анализы химического состава показали, что вода не имеет каких-то опасных

примесей. Были предположения, что сине-зеленые водоросли повлияли на вкус и цвет водопроводной воды. Несмотря на данные факторы, антропогенная нагрузка на озеро продолжает увеличиваться с каждым годом.

Наиболее важной задачей сейчас является выяснение токсичности сине-зеленых водорослей, которые цветут в озере Плещеево [5].

## Заключение

В настоящей работе было проведено наблюдение за особенностями уровня режима озер Ярославской области. В качестве объектов исследования выступали озеро Неро с пунктом наблюдения в г. Ростов, а также озеро Плещеево, гидрологический пост на данном озере расположен в городе Переславль-Залесский.

Было выяснено, что уровень режим данных озер изменился в 1976 году – средние годовые уровни воды увеличились на оз. Неро на 41 см, а на оз. Плещеево – на 28 см.

Данные изменения можно связать с изменением климатических условий: в 1976 году средняя годовая температура воздуха уменьшилась на  $3.48^{\circ}\text{C}$ , также количество осадков в тот год увеличилось по сравнению с предыдущим на 28 мм.

При анализе метеорологических характеристик был выявлен тренд на повышение в рядах суммы осадков за год, средняя скорость увеличения осадков на метеостанции Переславль-Залесский составила около 10 мм за 10 лет. Тренд оказался значимым. Что касается средней температуры воздуха, то до 1988 года наблюдался тренд на понижение, затем температура начала расти.

## Список использованных источников

1. Яблокова, Ю. Е. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 10, книга 1 / Ю. Е. Яблокова. — Москва: Московское отделение гидрометеоздата, 1973. — 478 с. — Текст: непосредственный.
2. Сикан, А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / А. В. Сикан. — 2-е издание. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2007. — 278 с. — Текст: непосредственный.
3. Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов / В. Ю. Георгиевский, А. Г. Лобанова, Т. Г. Молчанова [и др.]. — Санкт-Петербург: ФГБУ ГГИ, 2017. — 48 с. — Текст: непосредственный.
4. Сикан, А. В. Гидрологические расчеты. Часть I / А. В. Сикан. — Санкт-Петербург: РГГМУ, 2012. — 52 с. — Текст: непосредственный.
5. Российская газета [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://rg.ru/>. — Дата доступа: 15.06.2022.
6. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/>. — Дата доступа: 14.02.2022.
7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://meteo.ru/>. — Дата доступа: 10.05.2022.
8. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик СП-33-101 2003. — Москва: , 2004. — с. — Текст: непосредственный.