

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Многолетний ход экстремальных температур воздуха
на станции Саратов Юго-Восток в холодный период.**

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

студента 2 курса 215 группы

направления (специальности) 05.04.05 Прикладная

гидрометеорология

код и наименование направления (специальности)

географического факультета

наименование факультета, института, колледжа

Рожкова Александра Анатольевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Н.М. Шинкарева

инициалы, фамилия

И.о. Зав. кафедрой

к.г.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

М.Ю. Червяков

инициалы, фамилия

Саратов 2026

Введение

Во многих регионах земного шара происходят изменения региональных экстремальных значений температуры.

Оценка многолетних экстремумов метеорологических параметров за последние десятилетия представляет интерес в связи с изменением этих параметров на всем земном шаре и, в частности, в крупных городах.

За период с 1901 по 2012 гг. общее потепление составило $0,07^{\circ}\text{C}/10$ лет в среднем для земного шара, и $0,009^{\circ}\text{C}/10$ лет – для России. Начиная с середины 1970-х годов средняя температура приземного воздуха на территории Российской Федерации повышается со средней скоростью $0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет. По данным Всемирной метеорологической организации, 2024 год стал самым теплым за всю историю наблюдений – это важный сигнал об ускорении климатических изменений.

Температура воздуха испытывает значительные пространственные и временные изменения. Изменчивость средних и экстремальных величин связана с физико-географическими особенностями, характером циркуляции атмосферы и временем года.

Целью магистерской работы является анализ многолетней изменчивости максимальной и минимальной температуры воздуха на станции Саратов Юго-Восток за осенне-зимний период с 1938 по 2025 гг.

Задачами магистерской работы являются:

- Рассчитать и проанализировать статистические характеристики экстремальных температур воздуха на станции Саратов ЮВ;
- Рассчитать и проанализировать тренды многолетнего хода экстремальных температур воздуха на станции Саратов ЮВ;
- Построить и проанализировать графики многолетнего хода температуры воздуха и линейного тренда на станции Саратов ЮВ.

Исходными материалами для выполнения исследования послужили данные об абсолютной максимальной и минимальной температуры воздуха, взятые

из областного центра «Саратовского ЦГМС» и справочника «Климат России».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глобальное изменение климата – это всемирная проблема, с которой каждый год борются. Изменения происходят медленно, но они существенно могут усугубить жизнь на Земле в дальнейшем.

В последние десятилетия планета Земля переживает цикл глобального потепления. Началось все около 160 лет назад, когда на планете заканчивался «малый ледниковый период». Лишь в последние 40 лет рост глобальной температуры воздуха усилился, что больше всего выражено над континентальными районами Евразии и Северной Америки и больше всего – в Арктике.

По имеющимся оценкам средняя глобальная температура приземного воздуха за последние 100 лет увеличилась на $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Проанализировав временной ряд изменения температуры можно выделить особенные периоды: в период 1910-1946 гг. происходило потепление, в 1947-1975 гг. отмечалось слабое похолодание, а с 1976 года фиксируется фаза наиболее интенсивного потепления, которое продолжается по настоящее время.

Современное глобальное потепление, отчетливо выраженное на территории России, имеет ряд важных особенностей. Территория России теплеет почти вдвое быстрее, чем суша в целом: $0,51^{\circ}\text{C}$ за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981-1990 гг. теплее предыдущего, а из 10 самых теплых лет 9 наблюдались в XXI веке. В городах России изменение температурного режима происходит заметно интенсивнее, чем на сопредельных фоновых территориях, благодаря четко выраженному эффекту «острова тепла».

Характеристика температурного режима в городе Саратов

На формирование микроклимата города оказывает влияние рельеф, характер застройки, наличие зеленых зон и близость крупного водоема. Средняя годовая температура воздуха в Саратове положительна ($5,3^{\circ}\text{C}$). В течение

года среднемесячная температура изменяется от $-11,6^{\circ}\text{C}$ в январе до 21°C в июле.

Многолетняя изменчивость экстремальных температур воздуха на станции Саратов ЮВ

Для исследования была произведена выборка абсолютных максимальных и минимальных значений температуры воздуха на станции Саратов ЮВ в осенне-зимний период времени с 1938 года по 2025 гг. По выбранным данным был проведен расчет статистических характеристик, нужных для нахождения линейного тренда.

Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха в осенний период

Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха на станции

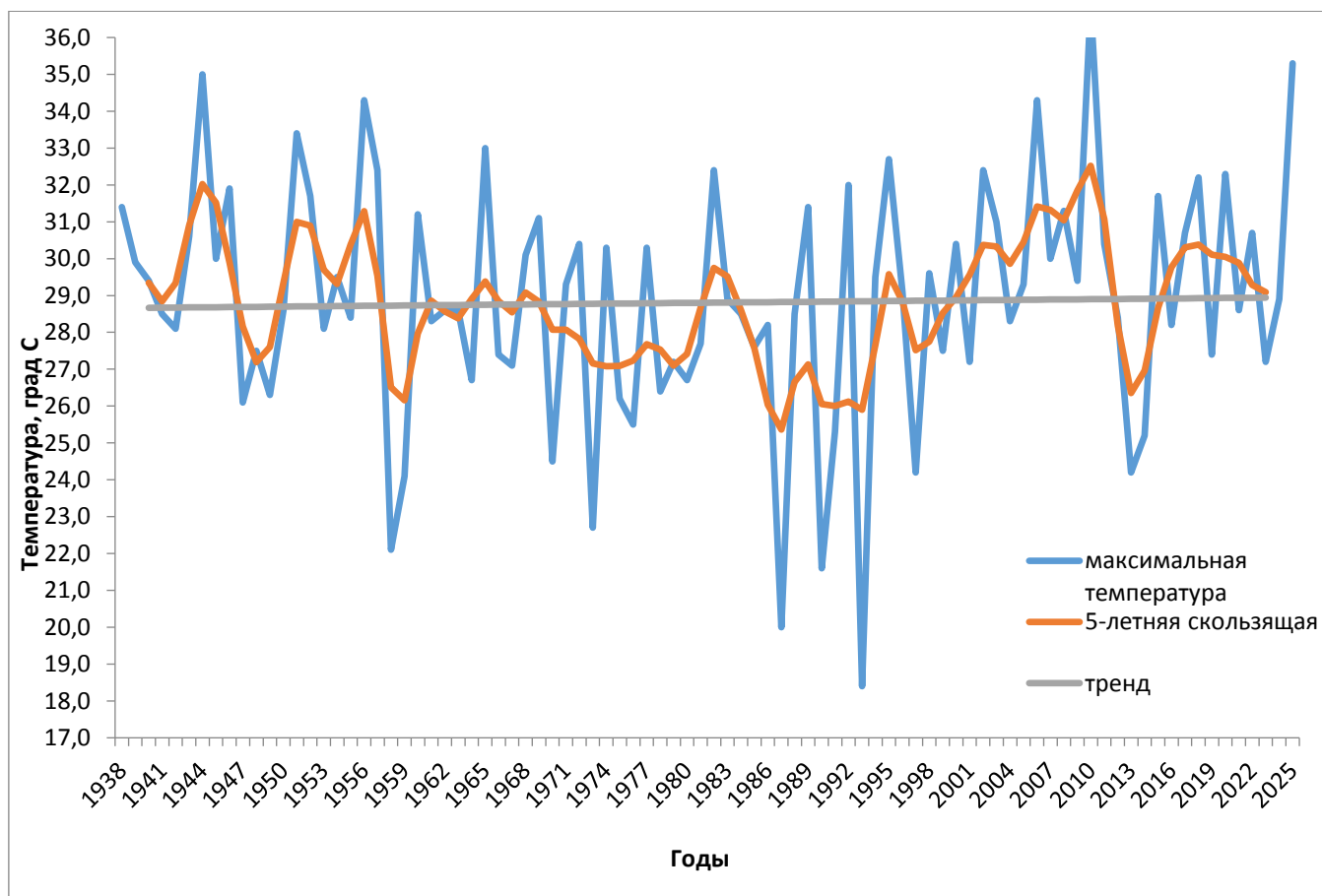
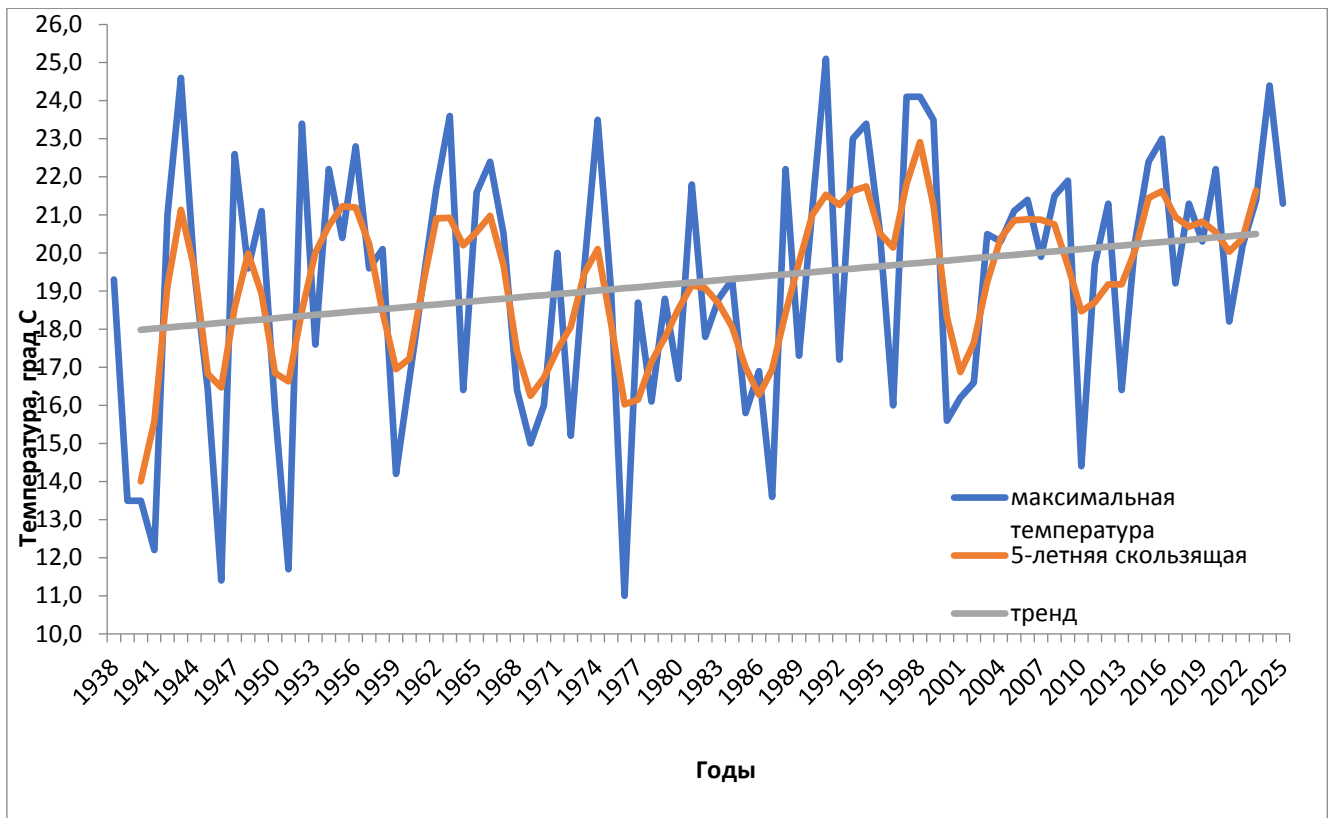


Рисунок 1 – Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха за сентябрь на станции Саратов ЮВ с 1938 по 2025гг (составлено автором)



Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха в зимний период

Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха на станции

Месяцы	$b_0, ^\circ\text{C}$	$b_1, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	Критерий Стьюдента, t_{b1}	Значимость, t_{b1}
Декабрь	3,4	0,01	2,07	Значим
Январь	1,1	0,04	4,12	Значим
Февраль	0,25	0,04	6,29	Значим

Как видно из таблицы и графиков, во все зимние месяцы отмечается небольшой рост максимальной температуры воздуха за 10 лет на $0,01^\circ\text{C}$ в декабре, на $0,04^\circ\text{C}$ в январе и на $0,04^\circ\text{C}$ в феврале. В целом за период с 1938 по 2025 гг. рост составил: в декабре $0,08^\circ\text{C}$, в январе и в феврале $0,32^\circ\text{C}$.

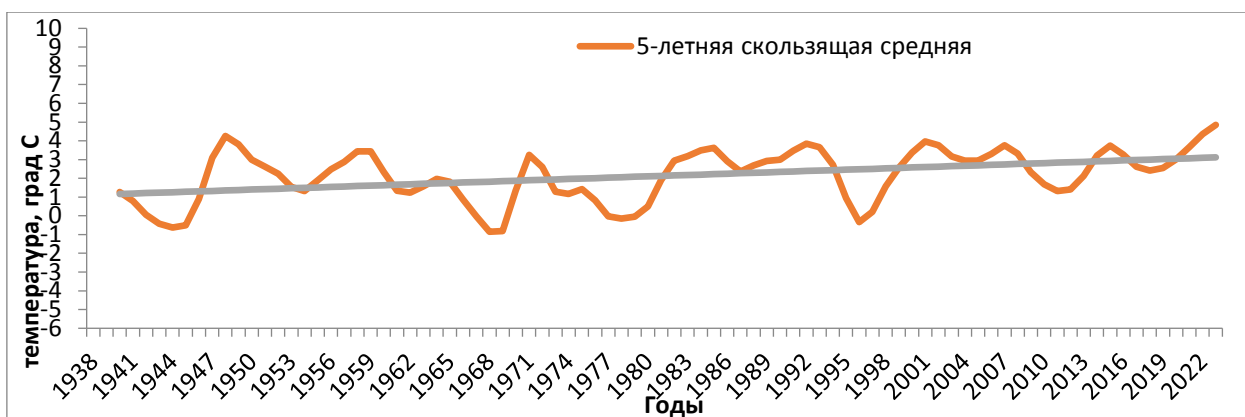


Рисунок 5 – Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха за январь на станции Саратов ЮВ с 1938 по 2025гг (составлено автором)

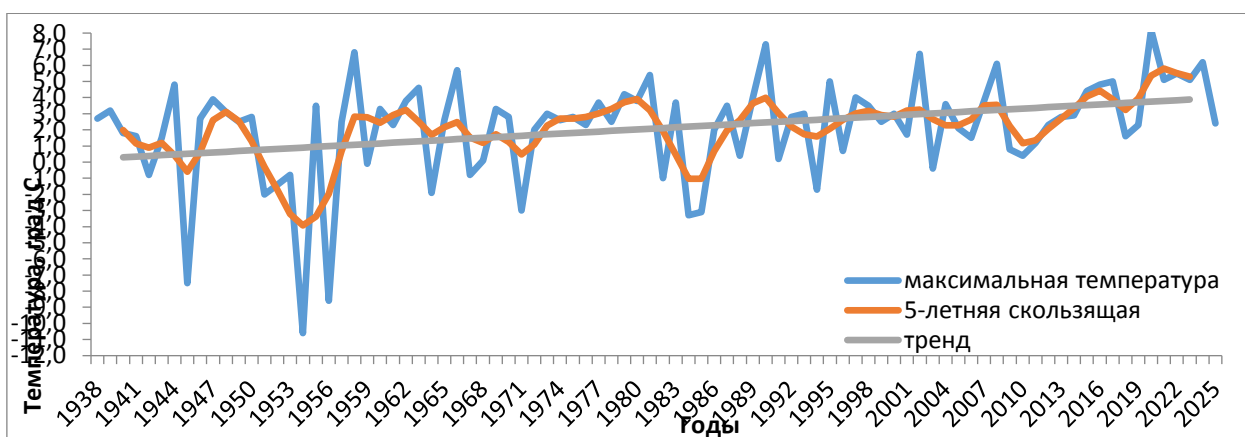


Рисунок 6 – Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха за февраль на станции Саратов ЮВ (составлено автором)

Самое высокое значение экстремума для декабря отмечалось в 1979 году и составило $9,8^{\circ}\text{C}$, а самое низкое $-0,9^{\circ}\text{C}$ в 1944 году. Самое высокое значение экстремума для января отмечалось в 1948 году и составило $8,1^{\circ}\text{C}$, а самое низкое $-5,6^{\circ}\text{C}$ в 1969 году. Самое высокое значение экстремума для февраля отмечалось в 2020 году и составило $8,2^{\circ}\text{C}$, а самое низкое $-10,6^{\circ}\text{C}$ в 1954 году.

Многолетняя изменчивость минимальной температуры воздуха в осенний период

Многолетняя изменчивость минимальной температуры воздуха на станции Саратов ЮВ в осенний период с 1938 по 2025 гг приводится в таблице 3.

Таблица 3- Значение коэффициента линейного тренда вида $y = b_0 + b_1x$ для минимальной температуры воздуха на станции Саратов ЮВ в осенний период за 1938-2025 гг. (составлено автором)

Месяцы	$b_0, ^\circ\text{C}$	$b_1, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	Критерий Стьюдента, t_{b1}	Значимость, t_{b1}
Сентябрь	1,4	0,03	5,4	Значим
Октябрь	-6,8	0,04	6,48	Значим
Ноябрь	-13,0	0,01	4,28	Значим

Как видно из таблицы 3, во все осенние месяцы отмечается рост минимальной температуры воздуха. В сентябре рост за 10 лет составил $0,03^\circ\text{C}$, в октябре $0,04^\circ\text{C}$, в ноябре $0,01^\circ\text{C}$. За весь исследуемый период с 1938 г. по 2025 г. наибольший рост минимальной температуры отмечался в октябре и составил $0,32^\circ\text{C}$. В ноябре и сентябре рост немного меньше и составляет $0,08^\circ\text{C}$ и $0,24^\circ\text{C}$, соответственно. Критерий Стьюдента показал, что величина линейного тренда значима для всех осенних месяцев.

В сентябре самое высокое значение наблюдалось в 2001 году и составило $10,0^\circ\text{C}$, а самое низкое $-2,9^\circ\text{C}$ отмечалось в 1941 году. В октябре самое высокое значение экстремума $1,1^\circ\text{C}$ отмечалось в 1955 году, самое низкое $-13,0^\circ\text{C}$ в 1968 году. В 2025 году в ноябре отмечалось самое высокое значение $-2,4^\circ\text{C}$, а самое низкое наблюдалось в 1998 году и составило $-24,7^\circ\text{C}$.

Многолетняя изменчивость минимальной температуры воздуха в зимний период

Многолетняя изменчивость минимальной температуры воздуха на станции Саратов ЮВ в зимний период с 1938 по 2025 гг представлена в таблице 4.

Таблица 4- Значение коэффициента линейного тренда вида $y = b_0 + b_1x$ для минимальной температуры воздуха на станции Саратов ЮВ в зимний период за 1938-2025 гг., (составлено автором)

Месяцы	$b_0, ^\circ\text{C}$	$b_1, ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$	Критерий Стьюдента, t_{b1}	Значимость, t_{b1}
Декабрь	-18,8	0,02	5,30	Значим
Январь	-27,3	0,08	6,45	Значим
Февраль	-26,7	0,07	7,69	Значим

Как видно из таблицы 4, в каждом зимнем месяце отмечается рост минимальной температуры воздуха. В декабре рост за 10 лет составляет $0,02^\circ\text{C}$, в январе $0,08^\circ$ и в феврале $0,07^\circ\text{C}$. За исследуемый период с 1938 г. по 2025 г. рост минимальной температуры в декабре составил $0,16^\circ\text{C}$, в январе $0,64^\circ\text{C}$ и в феврале $0,56^\circ\text{C}$.

Самое высокое значение экстремума для декабря отмечалось в 2017 году и составило $-11,2^\circ\text{C}$, самое низкое значение $-33,4^\circ\text{C}$ отмечалось в 1958 году. В январе самое высокое значение наблюдалось в 2020 году и составило $-9,4^\circ\text{C}$, самое низкое значение $-37,3^\circ\text{C}$ отмечалось в 1942 году. В феврале самое высокое значение отмечается в 2016 году и составляет $-8,5^\circ\text{C}$, самое низкое в 1956 году составляет $-34,8^\circ\text{C}$.

Аномальные периоды в многолетнем ходе экстремальных температур воздуха на станции Саратов ЮВ

Одной из важнейших обобщающих характеристик варьирующих признаков является средняя величина. Меры рассеяния – дисперсия и среднее квадратическое отклонение. При распределении совокупности по нормальному закону в интервале $X \pm \sigma$ находится 68,27%, $X \pm 2\sigma$ – 95,45%, $X \pm 3\sigma$ – 99,73% всех вариантов. Это положение играет важную роль в статистических оценках и называется правилом плюс-минус трех сигм.

На рисунках 7–9 представлен многолетний ход максимальной температуры воздуха за осенний сезон за период 1938–2025 гг. На графиках пунктирными линиями обозначены: зеленая линия – среднее многолетнее значение (норма) максимальной температуры воздуха; с 2-х сторон от нее, обозначены границы доверительного интервала; с 2-х сторон от доверительного интервала красным цветом указаны границы по правилу плюс трех сигм, синим цветом по правилу минус трех сигм, годы выше или ниже этого интервала считаются аномально жаркими или аномально холодными годами.

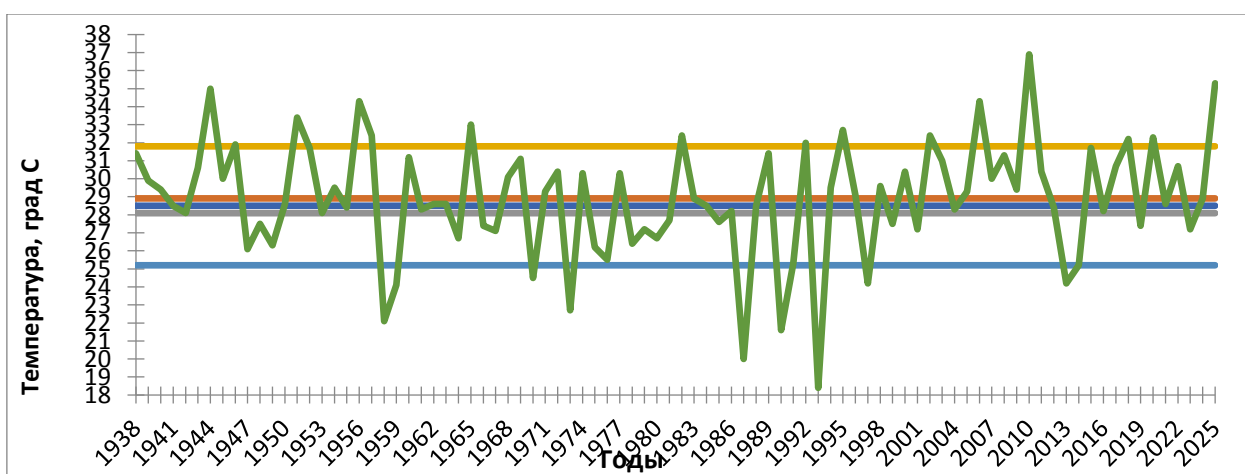


Рисунок 7 – Многолетний ход максимальной температуры воздуха в сентябре на станции Саратов ЮВ с 1938 по 2025гг (составлено автором)

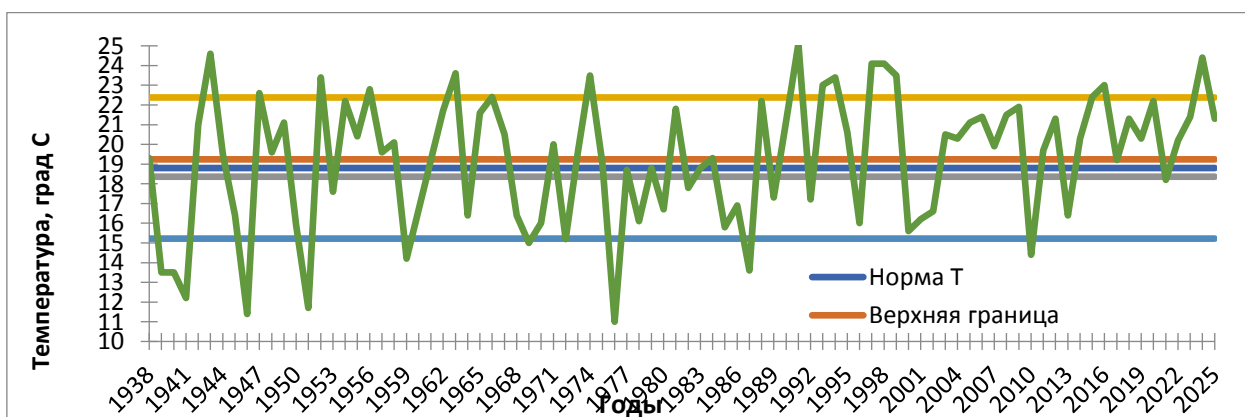


Рисунок 8 – Многолетний ход максимальной температуры воздуха в октябре на станции Саратов ЮВ с 1938 по 2025гг (составлено автором)

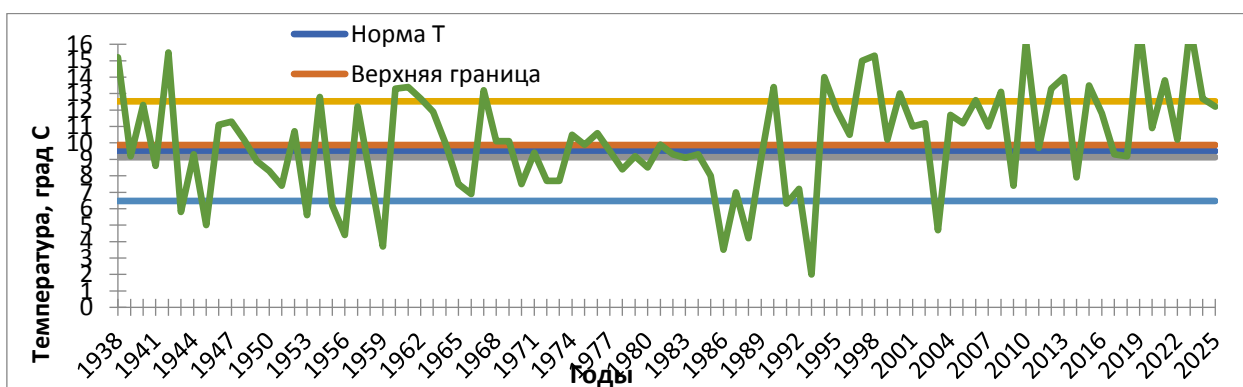


Рисунок 9 – Многолетний ход максимальной температуры воздуха в ноябре на станции Саратов ЮВ с 1938 по 2025гг (составлено автором)

На графиках 7–9 видно, что лишь в определенные годы фактические значения максимальной температуры воздуха соответствуют норме. В сентябре значения фактических максимальных температур выше нормы отмечаются в 17 случаях, ниже нормы в 10 случаях (19% и 11% соответственно). В октябре значения максимальной температуры выше нормы встречается в 19 случаях, а ниже нормы в 12 случаях (22% и 14% соответственно). В ноябре значения фактических максимальных температур выше нормы отмечаются в 24 случаях, ниже нормы в 11 случаях (27% и 13% соответственно).

Аномально теплыми годами в сентябре оказались: 1944, 1946, 1951, 1956, 1957, 1964, 1982, 1992, 1995, 2002, 2006, 2010, 2018, 2020, 2025; а аномально холодными годами являются: 1958, 1959, 1970, 1973, 1987, 1990, 1993, 1997, 2013, 2014. Таким образом, аномально теплых годов больше, чем аномально холодных.

Для октября аномально теплыми годами являются: 1943, 1947, 1952, 1956, 1963, 1966, 1974, 1991, 1993, 1994, 1997, 1998, 1999, 2015, 2016, 2024, а аномально холодными годами оказались: 1939, 1940, 1941, 1946, 1951, 1959,

1969, 1972, 1976, 1987, 2010. Таким образом, аномально теплых годов больше, чем аномально холодных.

Аномально теплыми годами в ноябре оказались: 1938, 1942, 1954, 1960, 1961, 1962, 1967, 1990, 1994, 1997, 1998, 2000, 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2015, 2019, 2021, 2023, 2024, а аномально холодные годы отмечались: 1943, 1945, 1953, 1955, 1956, 1959, 1986, 1988, 1991, 1993, 2003. Аномально теплые года превосходят аномально холодных.

Анализ аномально теплых и аномально холодных годов наглядно приведен в таблицах 5 и 6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований и анализу многолетнего хода максимальной и минимальной температуры на станции Саратов ЮВ за период с 1938 по 2025 гг., можно сделать следующие выводы:

- В осенне-зимний сезон преобладание отклонений максимальной температуры воздуха в сторону тепла наибольшее в конце 20 века в начале 21 века (1 раз на 3-5 лет). Отклонение в сторону холода наибольшее в начале 20 столетия, и частота таких отклонений уменьшается к сегодняшнему времени. Для минимальной температуры воздуха так же характерно увеличение отклонений в сторону тепла, и уменьшение отклонений в сторону холода.
- Во все осенние месяцы отмечается рост максимальной температуры воздуха: в сентябре на $0,01^{\circ}\text{C}$, в октябре на $0,03^{\circ}\text{C}$, в ноябре на $0,04^{\circ}\text{C}$ за 10 лет соответственно. В целом за весь период с 1938 г. по 2025 г. рост в сентябре составляет $0,87^{\circ}\text{C}$, в октябре $0,24^{\circ}\text{C}$, в ноябре $0,32^{\circ}\text{C}$. Критерий Стьюдента показал, что величина линейного тренда значима для всех осенних месяцев.
- Во все зимние месяцы отмечается небольшой рост максимальной температуры воздуха за 10 лет на $0,01^{\circ}\text{C}$ в декабре, на $0,04^{\circ}\text{C}$ в январе и на $0,04^{\circ}\text{C}$ в феврале. В целом за период с 1938 по 2025 гг. рост составил: в декабре $0,08^{\circ}\text{C}$, в январе и в феврале $0,32^{\circ}\text{C}$. Критерий Стьюдента показал, что величина линейного тренда значима для всех зимних месяцев.

- Во все осенние месяцы отмечается рост минимальной температуры воздуха. В сентябре рост за 10 лет составил $0,03^{\circ}\text{C}$, в октябре $0,04^{\circ}\text{C}$, в ноябре $0,01^{\circ}\text{C}$. За весь исследуемый период с 1938 г. по 2025 г. наибольший рост минимальной температуры отмечался в октябре и составил $0,32^{\circ}\text{C}$.

- В каждом зимнем месяце отмечается рост минимальной температуры воздуха. В декабре рост за 10 лет составляет $0,02^{\circ}\text{C}$, в январе $0,08^{\circ}$ и в феврале $0,07^{\circ}\text{C}$. За исследуемый период с 1938 г. по 2025 г. рост минимальной температуры в декабре составил $0,16^{\circ}\text{C}$, в январе $0,64^{\circ}\text{C}$ и в феврале $0,56^{\circ}\text{C}$.

- За исследуемый период с 1938 по 2025 гг., то есть 88 лет, больше всего повторяемости максимальной температуры выше нормы наблюдается в осенний сезон (60 лет). Меньше всего аномалий наблюдается в зимний период – 44 года. Повторяемость максимальной температуры ниже нормы больше всего отмечается в осеннее время (33 года), меньше всего в зимний сезон (30 лет).

- За исследуемый период с 1938 по 2025 гг., то есть 88 лет, больше всего повторяемости минимальной температуры выше нормы наблюдается в зимний сезон (60 лет) и в осенний – 56 лет. Повторяемость минимальной температуры ниже нормы больше отмечается в зимний период – 41 год, а в осенний сезон (39 лет).

- В целом на изменение температур на станции Саратов Юго-Восток влияет застройка города, а именно: усиленное коротковолновое излучение (многократные отражения от фасадов зданий или от поверхности земли); усиленное длинноволновое излучение (в основном вызвано загрязнением воздуха); снижение потерь тепла длинноволнового излучения; антропогенные источники тепла; увеличение запаса тепла; снижение испарения; снижение турбулентного переноса тепла.