

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

Кафедра метеорологии и климатологии

**Многолетняя изменчивость экстремальных температур
на станции Саратов Юго-Восток в период с 1939 по 2020 гг.**

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

студента 2 курса 215 группы
направления 05.04.05 Прикладная
(специальности) гидрометеорология
код и наименование направления (специальности)
географического факультета
наименование факультета, института, колледжа

Кагина Егора Игоревича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

зав. кафедрой, к.г.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

Н.М.Шинкарёва

подпись, дата

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

к.г.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

М.Ю. Червяков

подпись, дата

инициалы, фамилия

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.

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

Цель работы – анализ многолетней изменчивости максимальной и минимальной температуры воздуха на станции Саратов Юго-Восток за весенне-летний и осенне-зимний периоды с 1938 по 2020 гг.

Задачи работы:

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

Исходные материалы – данные об абсолютной максимальной и минимальной температуре воздуха, взятые из областного центра «Саратовского ЦГМС» и справочника «Климат России».

Глобальное изменение температуры воздуха

По имеющимся оценкам, средняя глобальная температура приземного воздуха за последние 100 лет увеличилась на $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$. При анализе временного ряда выделяются 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.

По данным Всемирной метеорологической организации, период 2015-2020 гг. был самым теплым шестилетием, а 2011-2020 гг. – самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. Современная средняя глобальная температура приземного воздуха составила примерно $14,9^\circ\text{C}$, что на $1,2^\circ\text{C}$ выше, чем в доиндустриальную эпоху. Средние темпы потепления приземного воздуха в течение 1976-2020 гг. составили $0,18^\circ\text{C}/10$ лет.

На территории России потепление над сушей происходит быстрее, чем над океаном. Территория России теплеет почти вдвое быстрее, чем суша в целом: $0,51^\circ\text{C}$ за десятилетие. В городах России изменение температурного режима происходит заметно интенсивнее, чем на сопредельных фоновых территориях, благодаря четко выраженному эффекту «острова тепла».

Изменчивость температуры воздуха в городе Саратов

На формирование микроклимата города оказывает влияние рельеф, характер застройки, наличие зеленых зон и близость крупного водоема. Зимой, весной и осенью температура в городе заметно отличается от температуры в его окрестностях – в среднем на 1°С выше.

Средняя годовая температура воздуха в Саратове положительна (5,3°С). В течение года среднемесячная температура изменяется от -11,6°С в январе до 21°С в июле. Наибольшая изменчивость отмечается в зимние месяцы (3,3-4,2°С), а наименьшая – в июле (1,7°С).

По исследованиям в течение периода с 1930-2014 гг. на всей территории Саратовской области отмечается рост средней, максимальной и минимальной за год температуры воздуха. Изменения средних за зиму температур составляют 0,4-0,60°С/10 лет, что превышает аналогичные значения летних температур (около 0,10°С/10 лет).

Установлено, что в последние десятилетия наблюдается рост как максимальных, так и минимальных температур. В холодный период отмечается наиболее существенный рост минимальных температур воздуха, а в теплый период – максимальных температур.

Методика исследования

Анализ многолетней изменчивости максимальной и минимальной температуры воздуха производится на основе линейного тренда вида:

$$y^i = b_0 + b_1 \cdot x_i$$

где x_i – номер члена ряда, рассчитанного по методу наименьших квадратов.

Значимость коэффициентов b_0 и b_1 оценивается с помощью критерия Стьюдента для 5% уровня достоверности. При табличном значении $T_b=1,67$ рассчитанные коэффициенты считаются значимыми, если значения критерия Стьюдента больше табличного.

5-летние скользящие средние рассчитаны на основе биномиального распределения по формуле:

$$y = 0,0625(y_1 + y_5) + 0,25(y_2 + y_4) + 0,375(y_3)$$

Многолетняя изменчивость максимальной температуры воздуха

Весенний период

Во все весенние месяцы отмечается рост максимальной температуры воздуха:

Месяц	Тренд, °C/10 лет	Рост за период	Значимость
Март	+0,05	0,4°C	значим
Апрель	+0,02	0,16°C	значим
Май	+0,03	0,24°C	значим

Экстремумы максимальной температуры весной:

- Март: максимум 18,1°C (2020 г.), минимум -0,2°C (1976 г.)
- Апрель: максимум 31,1°C (1950 г.), минимум 15,8°C (1974 г.)
- Май: максимум 34,1°C (2015 г.), минимум 20,6°C (1945 г.)

Летний период

В летние месяцы тренды максимальной температуры статистически незначимы:

Месяц	Тренд, °C/10 лет	Изменение за период	Значимость
Июнь	+0,004	+0,32°C	незначим
Июль	+0,007	+0,56°C	незначим
Август	-0,002	-0,16°C	незначим

Экстремумы максимальной температуры летом:

- Июнь: максимум 39,5°C (1998 г.), минимум 24,0°C (2003 г.)
- Июль: максимум 40,4°C (1971 г.), минимум 28,7°C (1985 г.)
- Август: максимум 40,7°C (1940 г.), минимум 27,2°C (1990 г.)

Многолетняя изменчивость минимальной температуры воздуха

Весенний период

Во все весенние месяцы наблюдается значимый рост минимальной температуры воздуха:

Месяц	Тренд, °C/10 лет	Рост за период	Значимость
Март	+0,08	0,64°C	значим
Апрель	+0,03	0,24°C	значим
Май	+0,03	0,24°C	значим

Экстремумы минимальной температуры весной:

- Март: максимум 3,4°C (1975 г.), минимум -26,8°C (1964 г.)
- Апрель: максимум 2,3°C (1953 г.), минимум -17,8°C (1963 г.)
- Май: максимум 7,6°C (1979 г.), минимум -3,8°C (1952 г.)

Летний период

В двух летних месяцах отмечается значимый рост минимальной температуры, в августе – незначительное падение:

Месяц	Тренд, °С/10 лет	Изменение за период	Значимость
Июнь	+0,028	+0,22°С	значим
Июль	+0,026	+0,21°С	значим
Август	-0,004	-0,032°С	незначим

Экстремумы минимальной температуры летом:

- Июнь: максимум 12,9°С (1988 г.), минимум 1,8°С (1967 г.)
- Июль: максимум 16,7°С (2010 г.), минимум 6,4°С (1957 г.)
- Август: максимум 13,6°С (1953 г.), минимум 4,3°С (1944 г.)

Аномальные периоды в многолетнем ходе температур

Максимальная температура

Весенний период:

- Март: выше нормы – 20 случаев (24%), ниже нормы – 12 случаев (14%)
- Апрель: выше нормы – 17 случаев (20%), ниже нормы – 12 случаев (14%)
- Май: выше нормы – 17 случаев (20%), ниже нормы – 11 случаев (13%)

Аномально теплые годы в марте: 1938, 1947, 1951, 1955, 1966, 1968, 1975, 1977, 1978, 1983, 1990, 1995, 2002, 2004, 2007, 2008, 2009, 2014, 2015, 2020

Аномально холодные годы в марте: 1942, 1946, 1952, 1956, 1957, 1964, 1969, 1976, 1979, 1980, 1987, 1988

Летний период:

- Июнь: выше нормы – 15 случаев (18%), ниже нормы – 11 случаев (13%)
- Июль: выше нормы – 15 случаев (18%), ниже нормы – 15 случаев (18%)
- Август: выше нормы – 15 случаев (18%), ниже нормы – 12 случаев (14%)

Аномально теплые годы в июне: 1948, 1951, 1954, 1957, 1972, 1975, 1991, 1998, 2007, 2009, 2010, 2012, 2015, 2018, 2019

Аномально холодные годы в июне: 1941, 1963, 1970, 1973, 1974, 1978, 1983, 1990, 1993, 2002, 2003

Минимальная температура

Весенний период:

- Март: выше нормы – 16 случаев (19%), ниже нормы – 11 случаев (13%)
- Апрель: выше нормы – 12 случаев (14%), ниже нормы – 11 случаев (13%)
- Май: выше нормы – 19 случаев (23%), ниже нормы – 11 случаев (13%)

Летний период:

- Июнь: выше нормы – 5 случаев (6%), ниже нормы – 22 случая (27%)
- Июль: выше нормы – 18 случаев (22%), ниже нормы – 10 случаев (12%)
- Август: выше нормы – 14 случаев (17%), ниже нормы – 14 случаев (17%)

Основные выводы

1. Для максимальной температуры воздуха в весенне-летний сезон повторяемость аномальных отклонений в сторону тепла начинает увеличиваться с конца XX века, достигая частоты 1 раз в 4-7 лет в начале XXI века. Повторяемость отклонений в сторону низкой температуры уменьшается с 1 раза в 4-7 лет до 1 раза в 8-12 лет.
2. Для минимальной температуры воздуха в весенне-летний сезон характерно увеличение частоты отклонений в сторону тепла (1 раз в 3-5 лет) с середины XX века и уменьшение частоты отклонений в сторону низких температур (1 раз в 10-15 лет).
3. Во все весенние месяцы отмечается значимый рост максимальной температуры воздуха ($0,02-0,05^{\circ}\text{C}/10$ лет) и минимальной температуры ($0,03-0,08^{\circ}\text{C}/10$ лет).
4. В летние месяцы тренды максимальной температуры статистически незначимы. Для минимальной температуры значимый рост отмечен в июне и июле ($0,026-0,028^{\circ}\text{C}/10$ лет), в августе тренд незначим.
5. За исследуемый период (1938-2020 гг.) значения максимальной температуры выше климатической нормы встречаются в 18,1% случаев, аномально холодные – в 13,4% случаев. Для минимальной температуры: выше нормы – 17,5%, ниже нормы – 15,5%.
6. Наибольшая повторяемость максимальной температуры выше нормы наблюдается в весенний сезон (54 года), меньше всего – в зимний период (33 года). Повторяемость максимальной температуры ниже нормы больше всего отмечается в летнее время (38 лет).
7. Наибольшая повторяемость минимальной температуры выше нормы наблюдается в зимний (48 лет) и весенний (47 лет) сезоны. Повторяемость минимальной температуры ниже нормы больше всего наблюдается в летний сезон (46 лет).
8. На изменение температур на станции Саратов Юго-Восток влияет застройка города: усиленное коротковолновое излучение, усиленное длинноволновое излучение, снижение потерь тепла длинноволнового

излучения, антропогенные источники тепла, увеличение запаса тепла, снижение испарения, снижение турбулентного переноса тепла.

9. Проведенное исследование показало тенденцию к изменению температуры воздуха, где прослеживается увеличение температуры, что свидетельствует о наличии глобального потепления.