

Физическая география и геоэкология

УДК 911.2

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2020-3-59-80>

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И СУММЫ ОСАДКОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ СТАРИЦА И ТВЕРЬ ЗА МНОГОЛЕТНИЙ ПЕРИОД*

Л.Э. Лапина, И.Л. Григорьева

Институт водных проблем РАН, Иваньковская НИС, г. Конаково

Анализируется региональная изменчивость среднемноголетних характеристик температуры воздуха в приземном слое и осадков по данным метеостанций в Старице и Твери, расположенных в бассейне верхней Волги. Среднегодовые и среднемесячные значения характеристик проанализированы с использованием метода скользящего среднего. Рассмотрен 30-летний период осреднения. Проанализированы данные по метеостанции Старица с 1962 по 2017 гг., а по метеостанции Тверь – с 1944 по 2017 гг. Для Старицы использованы суточные данные, для Твери – только среднемесячные. Данные температуры приземного слоя воздуха для каждого года наблюдений аппроксимировались простой синусоидальной функцией. Показано, что среднемноголетние значения амплитуд годовых колебаний для обеих метеостанций имеют тенденцию к снижению, а среднегодовые значения температур – тенденцию к повышению. Методом наименьших квадратов найдены параметры уравнений прямых, описывающих изменчивость среднемноголетних величин амплитуд годовых колебаний и среднемноголетних годовых температур воздуха. Сравнивались периоды наблюдений с 1961 по 1990 гг. и с 1991 по 2017 гг. для Твери и Старицы. Приводятся статистические характеристики температуры воздуха и осадков для двух периодов, сопоставлены значения метеостанций в Старице и Твери. Показано, что существенная разница между значениями температуры воздуха для обеих метеостанций наблюдается только во втором периоде. Среднемноголетние годовые суммы атмосферных осадков в этих городах имеют тенденцию к повышению со средней скоростью 18 мм/год. Месячные суммы атмосферных осадков однозначной тенденции, одинаковой для всех месяцев, не имеют. Скорость роста среднемноголетних значений температуры воздуха в Твери оценивается в 0.04°C/год, в Старице – 0.03°C/год.

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, Старица, Тверь, региональные изменения климата.

* Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) Государственного задания ИВП РАН и при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Тверской области в рамках научного проекта № 18 45-690001.

Введение

Температура воздуха – один из ключевых параметров внешней среды, который влияет на многие процессы в водоемах. Температура приземного слоя воздуха тесно связана с температурой воды на поверхности, которая влияет на температурный режим внутри водоема, а также на биологические процессы, в частности, на увеличение биомассы фитопланктона и зоопланктона. В работе [13] показано, что линейный тренд глобально осредненной температуры воздуха с 1881 по 1978 гг. составлял $0.4\text{--}0.5^{\circ}\text{C}/100$ лет. Однако пространственное распределение многолетних изменений температуры воздуха неоднородно. Кроме того, долговременные изменения температуры воздуха неоднородны не только в пространстве, но и во времени. Например, различны темпы роста температуры в зимнее и летнее время, или в разные временные периоды скорость изменения может быть разной. С осадками тесно связаны процессы формирования речного стока, что, в свою очередь, влияет на приток воды в водохранилище.

Цель данной работы – анализ многолетних рядов наблюдений температур воздуха и осадков в бассейне верхней Волги (метеостанции Старица и Тверь) для выявления тенденций изменения.

В задачи исследований входило:

- аналитическое описание годового хода температуры воздуха простой периодической функцией с определением параметров этой функции для каждого года по обеим метеостанциям;
- определение тенденции изменения среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы атмосферных осадков с применением метода скользящего среднего с 30-ти летним периодом осреднения;
- выявление основных тенденций изменения среднемноголетних характеристик температуры воздуха и годовой суммы атмосферных осадков с оценкой скорости роста.

Для анализа временных рядов наиболее часто используются статистические методы. Чаще всего анализируют среднегодовые значения температур за тот или иной период наблюдений, которые аппроксимируются прямой, угловой коэффициент которой дает оценку скорости роста. В последнее время появились работы, более подробно анализирующие данные, вплоть до помесячного анализа [4, 5, 7], а также работы с выделением двух или нескольких периодов, для каждого из которых приводится своя оценка. В работе [4] приведены оценки линейных трендов регионально осредненных температур приземного воздуха и для года, и по сезонам. Для европейской части России для

годовых значений температуры – $0.56^{\circ}/10$ лет, зимой и осенью – $0.62^{\circ}/10$ лет, для весны и лета тоже достаточно высокие оценки – $0.57^{\circ}/10$ лет. Тот факт, что температура воздуха в зимние месяцы растет быстрее по сравнению с летними, отмечен во многих регионах, например, при анализе данных метеостанции Сыктывкар с 1900 по 2015 гг. [9], при анализе данных метеостанций Европейского Севера с 1965–2005 гг. [11], при анализе данных метеостанции Нижнего Новгорода [6], по данным метеостанции Рыбинска [7]. Но в некоторых регионах наблюдается другая картина, например, температура летом растет быстрее, чем зимой. Этот факт отмечен в работах [10, 14]. В статье [3] на основе прогностических расчетов для Рыбинского водохранилища показано, что в придонном слое возможно повышение температуры воды на $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$ в летние месяцы, а также возможно увеличение разности поверхностной и придонной температуры воды. Это может привести к усилению той части течений, что обусловлены температурным градиентом.

Часто данные можно разделить либо на две группы по времени, либо на данные по двум объектам. При этом получим для каждой группы определенный набор статистических характеристик. Разница может быть, как существенной, так и несущественной с точки зрения анализа данных. Для доказательства различий необходимо проверить соответствующую гипотезу. Эту проверку можно сделать различными способами, большинство из которых описано в [8].

Материалы и методы анализа

Материалы наблюдений по температуре воздуха и осадкам по метеостанции Старица взяты из массива данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [1]. Данные представляют собой массив суточных значений с 1962 по 2017 гг. Материалы по Твери представлены в виде значений среднемесячных температур воздуха и месячных значений выпавших осадков с 1944 по 2017 гг. (архивные данные Иваньковской НИС и данные с сайта gr5.ru). Анализ для каждой станции проводился отдельно с учетом этого обстоятельства.

Обе метеостанции расположены в бассейне верхней Волги (зона умеренного климата) с продолжительным (около 7 месяцев) периодом положительных температур воздуха, затяжными осенним и весенним периодами с чередованием волн холода и тепла и зимним периодом, в основном, с устойчивой отрицательной температурой воздуха, которая удерживается в течение 3–4 месяцев, с конца ноября до середины марта [2].

Годовая сумма осадков колеблется от 550 до 700 мм, при этом около 2/3 этого количества выпадает в теплую часть года [2].

При анализе метеорологических данных, в основном, применяют две математические процедуры: аппроксимация всего временного ряда полиномами различных степеней и метод скользящего среднего. Степень полинома, выбираемого исследователями, как правило, не превышает третьей. Но прогноз тенденций даже на короткое время может приводить к «запредельным» значениям, поэтому часто выбирают полином первой степени вида $y = at + \beta$, где a описывает скорость изменения характеристики. Кроме того, при использовании данных для каждого года, кривая, как правило, характеризуется резкими пиками, что затрудняет выделение основной тенденции. Именно поэтому часто используют метод скользящего среднего. Обычно в качестве периода осреднения используют 30 лет [10]. Метод скользящего среднего на концах временного ряда может давать ошибку, связанную с уменьшением периода осреднения. Для исключения этой неопределенности нами использовался только 30-летний период осреднения. Кроме того, годовой ход температуры воздуха аппроксимировался для каждого года наблюдений функцией вида:

$$T = A \sin(\omega t + \phi) + B \quad (1)$$

где T – температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), A – амплитуда годовых колебаний ($^{\circ}\text{C}$), ω – частота годовых колебаний (рад), t – время в днях от начала года, ϕ – сдвиг фазы (рад), B – среднегодовая температура ($^{\circ}\text{C}$). Для Твери в качестве параметра t – месяц и соответственно $\omega = \frac{2\pi}{12}$.

Параметры A , B , ϕ находились методом наименьших квадратов. Расчет следующий: сначала фиксировался сдвиг фазы, при фиксированном ϕ находились параметры A и B , рассчитывалась ошибка приближения. Затем меняли параметр ϕ на небольшую величину, расчет проводили снова. Таким образом, получился набор параметров. Среди этого набора находили такой, который давал наименьшую ошибку приближения. Он и выбирался в итоге. Такой подход использовался к каждому году наблюдений. Для данных по Старице такой подход оказался вполне успешным, разность между среднегодовой температурой по наблюдениям и по расчетам формулы (1) составила порядка ошибки измерений. В некоторых случаях такой метод позволяет восстановить данные, когда отсутствует небольшое количество наблюдений. Данные по Твери анализировались аналогично.

Для каждого месяца и года были рассчитаны следующие статистические характеристики: минимальное и максимальное значения, медиана, коэффициент асимметрии для осадков, среднее значение и среднеквадратическое отклонение. Среднеквадратическое отклонение, характеризующее разброс значений и тем самым описывает межгодовую изменчивость характеристик; используется при расчете интервальных

оценок, в том числе и для величин, закон распределения которых не является нормальным или неизвестен. Результаты расчетов этих величин представлены для Старицы в табл. 1 и 2, для Твери – в табл. 3, 4. Зная среднее и среднеквадратическое отклонение можно строить и доверительные интервалы, в пределах которого с той или иной вероятностью будут находиться значения характеристик. Формулы для интервальных оценок также можно найти в [8].

Результаты и обсуждение Результаты расчетов годовых характеристик

Графики, построенные по данным расчетов параметров формулы (1) для каждого года, имеют пилообразный характер. Поэтому результаты были осреднены для обеих метеостанций по 30-ти летним периодам, начиная с года начала имеющихся данных. Использовался метод скользящего среднего, который заключается в следующем: сначала для вычисления использовался период наблюдений, например, с 1961–1990 гг., затем использовался период с 1962–1991 гг. и т.д. до тех пор, пока имелась возможность осреднить данные по вышеуказанному периоду. Уменьшение периода осреднения не допускалось, использовались все данные, имеющиеся в распоряжении. Полученное значение датировалось серединой рассматриваемого периода осреднения, т.е. значение для 1977 г. на рисунках – это среднемноголетнее значение данных в период с 1962–1991 гг., а для 2000 г. – величина, полученная при осреднении за период с 1985 по 2014 гг. Осреднение проведено с целью выявления главного тренда в показателях. Используемая датировка не влияет на сам тренд и его оценку.

На рис.1. представлен такой результат для амплитуды годовых колебаний, который показывает, что она уменьшается во времени. Такой же эффект уменьшения этой характеристики отмечается в работе [6] по данным метеостанции Нижнего Новгорода. Заметим, что работ, анализирующих амплитуды годовых колебаний, мало среди множества работ, посвященных изучению динамике температуры приземного слоя воздуха. Далее в тексте статьи под среднемноголетними значениями понимаются значения, осредненные за 30-летний период.

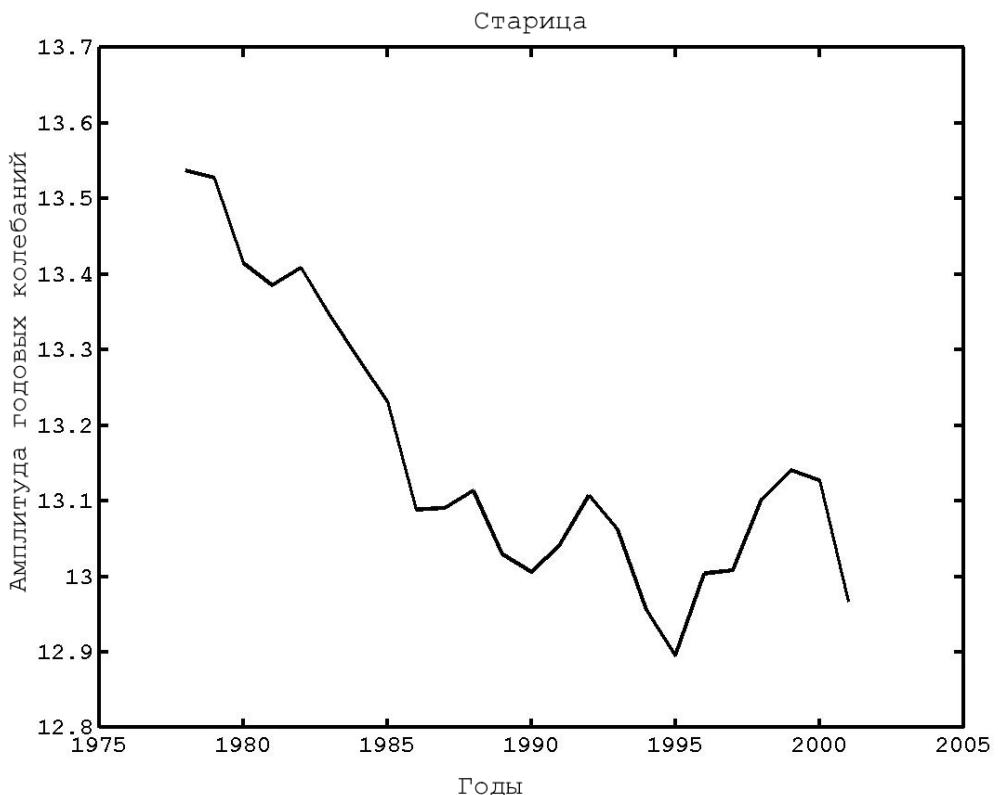
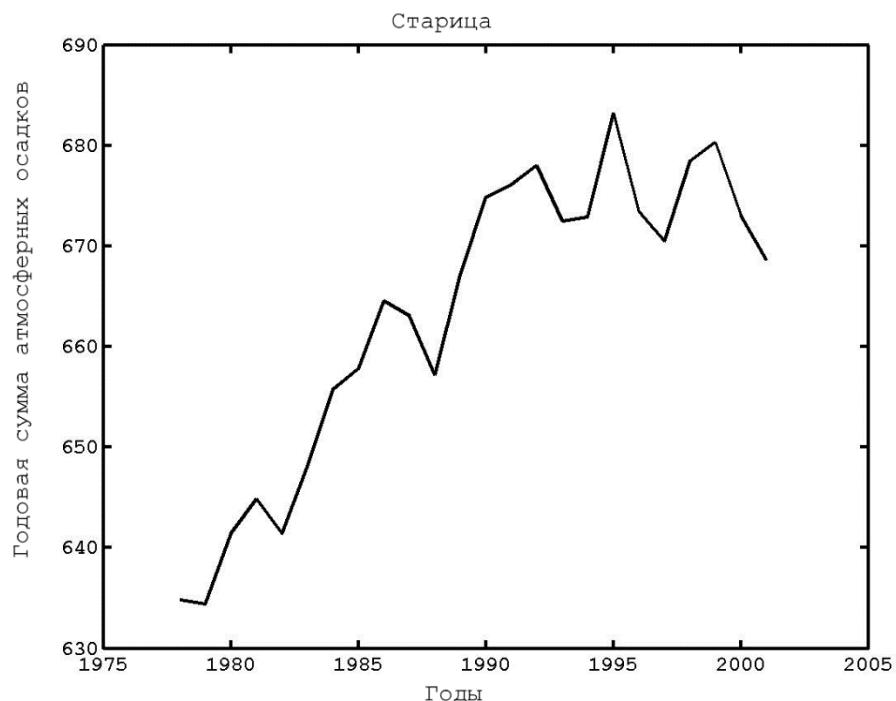


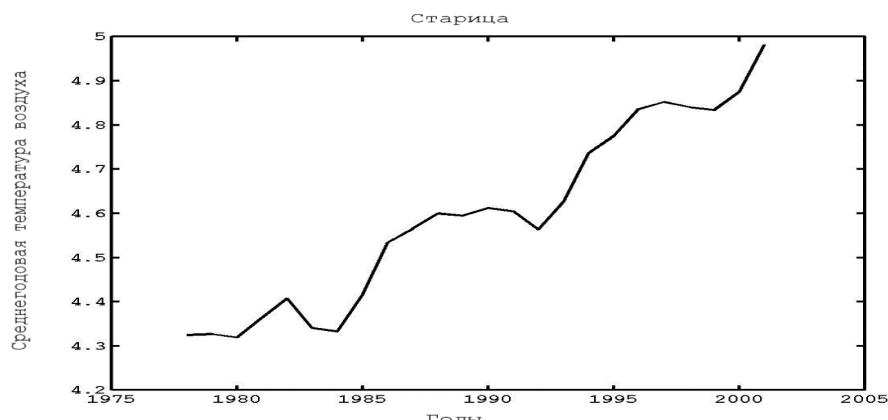
Рис. 1. Динамика среднемноголетних амплитуд годовых колебаний температуры воздуха (метеостанция Старица) по данным с 1962 по 2017 гг.

На рис. 2 приведена динамика относительно среднемноголетних годовых сумм атмосферных осадков, из которого видно, что эта величина примерно до 2010 г. (1995 г. соответственно на рис. 2) росла, а затем стабилизировалась и даже наметилась тенденция к уменьшению. Статистические характеристики для месячных и годовых сумм атмосферных осадков приведены в табл. 2 для Старицы и в табл. 3 и 4 – для Твери.

На рис. 3 приведена динамика среднемноголетних значений среднегодовых температур воздуха по метеостанции Старица. По нему можно сделать грубую оценку тренда для среднемноголетнего значения температуры воздуха, которая составляет 0.7°C за 30 лет или 0.023°C за год.



Р и с. 2. Динамика среднемноголетних годовых сумм атмосферных осадков по данным метеостанции Старица с 1962 по 2017 гг.



Р и с. 3. Динамика среднемноголетних значений среднегодовых температур воздуха по данным метеостанции Старица с 1962 по 2017 гг.

Результаты расчетов по формуле (1) по данным метеостанции Старица показывают, что формула адекватно описывает годовой ход температуры воздуха. Данные среднегодовой температуры воздуха, полученные путем расчетов или рассчитанные по наблюдениям, практически не отличаются. Сдвиг фаз за весь период наблюдений

меняется от 4.27 радиан до 4.85 радианы. Амплитуда годовых колебаний меняется от 9.9 °C до 17 °C за весь рассматриваемый период со средним значением 13.3 °C, медианным значением 13.4 °C и стандартным отклонением 1.4 °C. Среднегодовая температура воздуха меняется от 1.95 °C до 6.31 °C с медианным значением 4.7 °C, средним значением 4.6 °C и стандартным отклонением равным 1 °C. Анализ годовых колебаний температуры воздуха, рассчитанный по среднемесячным значениям температуры воздуха по метеостанции Тверь, показывает, что амплитуда меняется от 10.6 °C до 17.4 °C с медианным значением 13.6 °C, средним значением 13.6 °C и стандартным отклонением 1.3 °C. Среднегодовая температура находится в пределах от 2 °C до 6.7 °C, медианным значением 4.4 °C, средним 4.5 °C, стандартным отклонением 1.14 °C. Сдвиг фаз меняется в пределах от 4.03 до 4.36 радианы.

Амплитуды годовых колебаний и среднегодовые значения температуры воздуха осреднены по 30-летним периодам методом скользящего среднего и полученный ряд далее аппроксимировали прямой. Получили следующие представления для среднемноголетних значений:

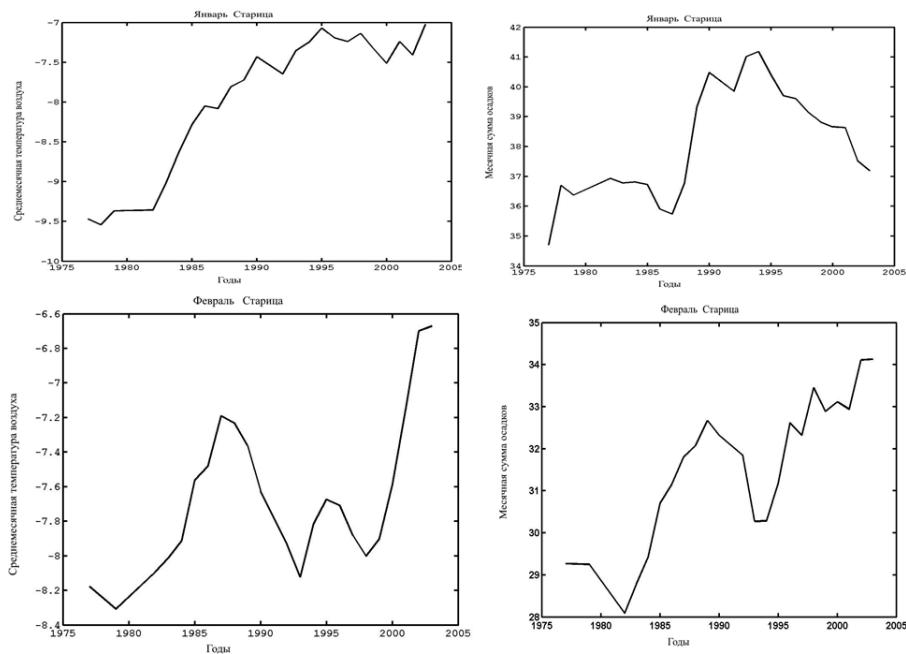
$$\begin{aligned} \text{Для Твери: } A &= -0.016t + 13.9 \\ &B = 0.041t + 3.4 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Для Старицы: } A &= -0.02t + 13.4 \\ &B = 0.033t + 4.15 \end{aligned} \quad (3)$$

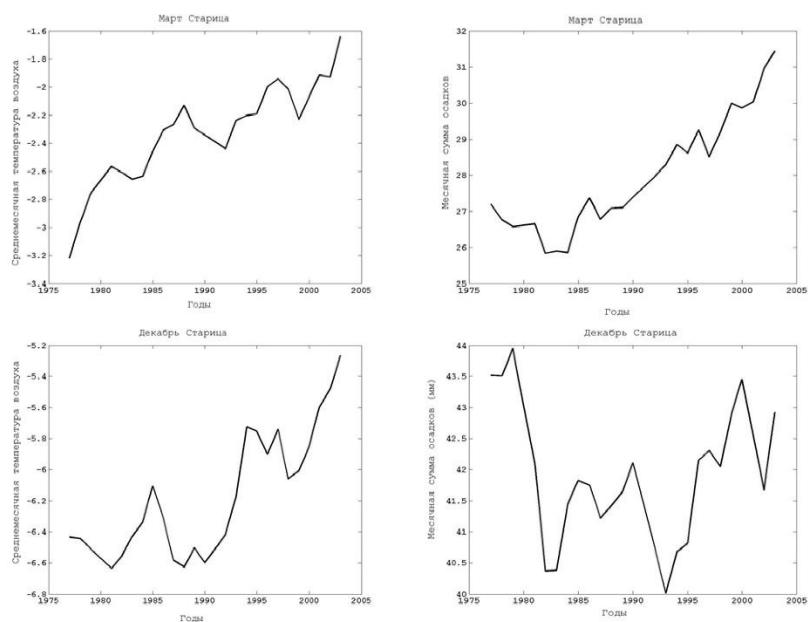
В формулах (2) и (3) параметр t – время в годах от начала отсчета. В качестве нулевого значения параметра t для Твери выступает 1943 г., для Старицы – 1960 г. По формулам (2) и (3) можно оценить тренды среднемноголетних значений температуры воздуха, которые для Твери составили 0.04 °C/год, а для Старицы – 0.033 °C/год. Эта оценка несколько отличается от оценки тренда, сделанного на основе рис. 3 для Старицы. Следовательно, методика оценки тренда имеет некоторое значение. Также эта оценка отличается от той, что сделана в работе [11], согласно которой в Европейской части России тренд для среднегодовой температуры воздуха составляет 0.026 °C/год.

Помесечный анализ

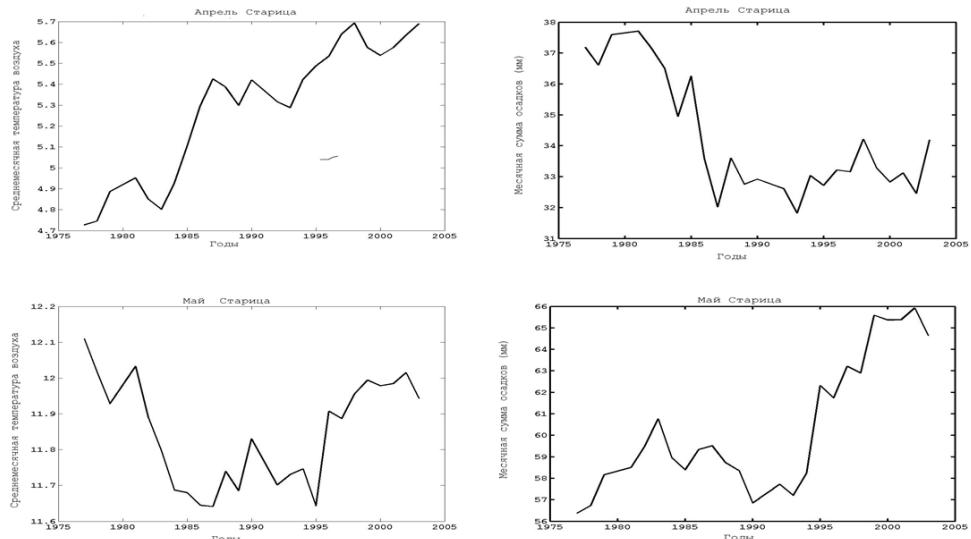
Нами проведен анализ данных каждого месяца, статистические характеристики приведены в табл. 1–4, оценки трендов в табл. 5 и 6. На рис. 4 и 5 приведены графики температур воздуха и осадков в холодный период года для Старицы, на рис. 6 и 7 данные за апрель, май, июль, октябрь. Слева расположены графики температуры воздуха, справа – осадков.



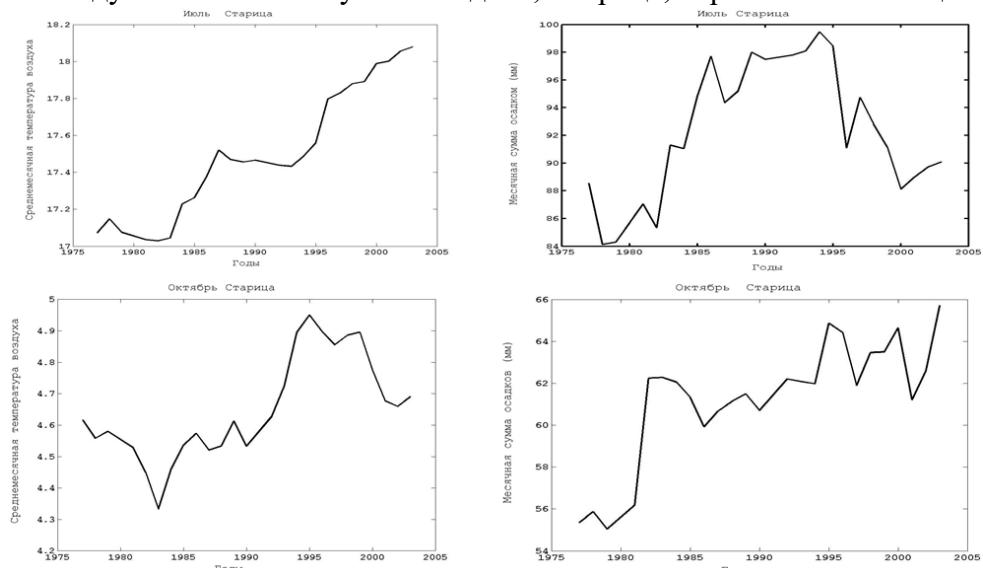
Р и с. 4. Динамика среднемноголетних значений среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков в январе и феврале, метеостанция Старица



Р и с. 5. Динамика среднемноголетних значений среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков в марте и декабре, метеостанция Старица



Р и с. 6. Среднемноголетние значения среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы осадков, Старица, апрель и май месяцы



Р и с. 7. Среднемноголетние значения среднемесячной температуры воздуха и месячной суммы атмосферных осадков, Старица, июль и октябрь

Эти рисунки показывают, что тренды в разные месяцы отличаются. Повышение среднемноголетнего значения среднемесячной температуры воздуха однозначно происходит в январе и марте, апреле, июле, а в феврале, декабре, мае и октябре есть периоды и повышения и понижения этого значения. Характер повышения и понижения среднемноголетнего значения среднемесячной температуры воздуха

разный: в мае это скорее парабола с ветвями, направленными вверх, в феврале и октябре – ближе к кубическому полиному.

С осадками картина еще более разнообразна. Если для годовой характеристики (рис.2) характер изменения определяется однозначно, то при помесячном анализе явного характера трендов нет. Четкая тенденция к повышению месячной суммы осадков наблюдается в марте, октябре, уменьшение – в апреле, для остальных месяцев картина более сложная.

Кроме того, рис. 4–6 показывают, что для многих месяцев нет явной тенденции и для осадков, и для температуры воздуха, и однозначно аппроксимировать прямой данные нельзя. Так, график осадков июля имеет параболический вид с ветвями вниз, а температуру для октября корректнее аппроксимировать кубическим полиномом.

Оценка трендов

Оценивать тренд можно по-разному. Выше приводилась оценка тренда среднемноголетнего значения для среднегодовой температуры воздуха, полученной при использовании данных расчетов по формуле (1) и применения к ним аппроксимации прямой линией, параметры которой получены методом наименьших квадратов (формулы (2) и (3)). Можно использовать графики среднемноголетних значений величин, например, рис.2 – 7, а можно использовать статистические характеристики ежегодных данных для разных периодов наблюдения.

Результаты расчетов среднемесячных температур воздуха и месячных сумм осадков приведены в табл. 1–4. Первые две таблицы представляют Старицу, а другие – Тверь. Цифры в таблицах основаны на ежегодных расчетах.

Принятые в таблицах обозначения: T_{\min} – минимальное значение температуры воздуха, T_{\max} – максимальное значение температуры воздуха, $T_{\text{среднее}}$ – среднее значение температуры воздуха, σ – среднеквадратическое отклонение, AO_{\min} – минимально значение суммы атмосферных осадков, AO_{\max} – максимальное значение суммы атмосферных осадков, $AO_{\text{среднее}}$ – среднее значение суммы атмосферных осадков.

Данные этих таблиц можно использовать для построения интервальных оценок. Например, в [8] приведены следующие формулы для оценки среднего значения при неизвестной дисперсии и нормальном законе распределения:

$$x_{\text{н}} = \bar{x} - t_{\gamma} \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad x_{\text{в}} = \bar{x} + t_{\gamma} \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad t_{0,975} = 1.96 + \frac{2,5}{n-1,8}, \quad (4)$$

где $x_{\text{н}}$ – нижняя граница интервальной оценки, $x_{\text{в}}$ – верхняя граница интервальной оценки, \bar{x} – выборочное среднее значение, полученное по данным наблюдений, s – выборочное стандартное отклонение,

рассчитанное по данным, n – число данных наблюдений, t_γ – коэффициент, значение которого зависит от того, с какой вероятностью хотим получить интервал, в котором расположены значения.

Таблица 1

Статистические характеристики среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанции Старица

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Старица, весь период наблюдений													
T_{min}	-19.6	-16.3	-10.7	2.1	7.3	11.9	14.8	13.6	5.7	0.8	-9.6	-16.3	2.0
T_{max}	-2.1	0.4	3.9	9.7	15.7	20.2	23.5	19.6	12.9	8.3	3.5	1.1	6.3
	-8.6	-7.8	-2.6	5.2	12.0	15.6	17.6	15.8	10.3	4.7	-1.3	-5.9	4.7
Σ	4.2	4.1	3.2	1.8	2.0	1.8	1.7	1.3	1.6	1.6	2.6	3.7	1.0
Медиана	-7.9	-8.0	-2.2	5.0	12.1	15.5	17.3	15.6	10.5	4.7	-1.2	-5.3	4.8
Старица, период наблюдений 1962–1990 гг.													
T_{min}	-19.6	-16.3	-10.7	2.1	7.3	12.4	14.7	13.6	6.5	2.7	-5.4	-16.3	2.0
T_{max}	-2.1	0.4	1.4	8.1	15.3	18.0	20.8	19.3	12.9	8.3	2.0	-1.0	6.3
	-10.1	-8.6	-3.4	4.6	12.2	15.5	17.1	15.5	10.0	4.7	-1.4	-6.7	4.2
σ	4.9	4.1	3.3	1.7	2.1	1.8	1.56	1.3	1.5	1.6	1.9	3.3	1.1
Медиана	-10.8	-8.6	-2.5	4.3	11.9	15.8	17.1	15.3	10.1	4.3	-1.5	-6.6	4.2
Старица, период наблюдений 1991–2017 гг.													
T_{min}	-15.9	-15.6	-8.7	3.2	7.8	11.9	16.0	14.1	5.7	0.8	-9.6	-13.6	3.9
T_{max}	-2.7	0.4	3.9	9.71	15.7	20.2	23.5	19.6	12.9	7.9	3.5	1.1	6.3
	-7.2	-7.1	-1.9	5.81	11.9	15.7	18.1	16.0	10.6	4.7	-1.2	-5.2	5.1
σ	3.0	4.06	2.9	1.7	2.0	1.9	1.8	1.2	1.64	1.6	3.1	3.9	0.7
Медиана	-6.8	-7.1	-2.0	5.6	12.15	15.4	17.4	16	10.6	5.1	-0.1	-4.4	5.1

В формуле (4) выписана упрощенная формула расчета этого параметра для вероятности 95%. Для двусторонней оценки среднего значения с указанной вероятностью нужно чтобы только 2.5% значений находились с каждой стороны вне интервала, поэтому для двусторонней оценки температуры воздуха значение параметра $\gamma=0.975$. Если использовать формулу (4) к данным среднемесячных значений января по периоду 1991–2017 гг., приведенных в табл. 1, то получим оценку, что с вероятностью 95% значение будет находиться в пределах от -8.2 до -6. На длину интервала существенное влияние оказывает среднеквадратическое отклонение. Как видим из табл. 1, и минимальное и максимальное значения среднемесячной температуры воздуха могут выходить за пределы интервала, построенного для вероятности 95%. Для получения интервала с 99% вероятностью для нормально распределенных случайных величин можно использовать правило трех сигм, которое заключается в том, что нижняя и верхняя граница интервала определяются следующей формулой:

$$x_n = \bar{x} - 3\sigma, \quad x_b = \bar{x} + 3\sigma \quad (5)$$

Применение этого правила к данным наблюдений за 1991–2017 гг. к среднемесячным значениям температуры воздуха января дает интервал от -16.2 до +1.8°C, в который укладываются имеющиеся наблюдения за максимальной и минимальной температурой воздуха, а также

показывает, что в январе возможно положительное значение среднемесячной температуры.

Таблица 2

Статистические характеристики
месячных и годовых сумм осадков по данным метеостанции Старица

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Старица, весь период наблюдений													
AO _{min}	1.7	1.6	4.8	1.41	14.6	14	2.9	5.8	3.6	2.3	1.7	1.6	432.4
AO _{max}	85.7	71.6	61.1	109.2	166.3	171.9	227	230.9	157.3	209.6	102.1	90.5	933.9
	35.7	31.3	29.0	36.2	61.4	78.9	88.3	70.9	61.4	60.1	49.1	43.6	570.2
σ	19	16	14	21	31	37	53	49	33	35	21	20	81
Медиана	34.2	28.8	27.2	31.8	59.1	84.1	78.4	70.7	55.6	57	26.9	19.8	636.6
Коэффициент асимметрии	0.6	0.6	0.4	0.9	1.0	0.3	0.6	1.1	0.81	1.6	0.2	0.5	0.3
Старица, период наблюдений 1961-1990 гг.													
AO _{min}	1.1	1.6	4.8	1.4	14.6	20.7	8.3	10.4	3.60	2.3	17.4	1.6	432.4
AO _{max}	80.8	71.6	61.1	109.2	110.8	171.9	227	231	120	119.9	97.4	86.7	933.9
	33.4	28.7	28.4	39.1	56.7	78.6	84.6	76.7	57.0	54.1	50.5	43.9	632.7
σ	20	18	15	24	27	38	53	54	57	29	20	21	112
Медиана	33.1	23.6	25.2	33	49.4	81.6	73.7	60.3	52	54.6	51.9	41.9	624.5
Коэффициент асимметрии	0.5	0.9	0.7	1.0	0.4	0.4	0.7	1.5	0.4	0.4	0.1	0.3	0.77
Старица, период наблюдений 1991-2017 гг.													
AO _{min}	12.6	9.7	5	4.7	21.1	14	2.9	5.8	26	16.7	-9.59	-	434.7
AO _{max}	85.7	61.9	51.5	64.7	166.3	154.2	210.5	196.9	157.3	209.6	102.1	90.5	892.8
	37.9	33.6	29.4	31.9	67.6	77.2	91.6	81.1	65.0	66.0	47.6	43.2	674
σ	17	14	13	17	34	38	54	47	35	40	23	19	121
Медиана	34.3	30.5	30.8	28.8	60	83.3	79.8	73.9	59.1	62.4	47.6	40.5	666.3
Коэффициент асимметрии	0.8	0.3	-0.1	0.5	1	0.3	0.4	0.6	1.0	1.7	0.4	0.8	-0.1

Так как осадки не распределены по нормальному закону распределения, то формула (4) не годится для получения интервальной оценки, поэтому можно использовать правило пяти сигм, которое используется, например, для проверки корректности данных для концентраций метана в программе EddyPro. С 95% вероятностью месячная сумма осадков в январе в районе Старицы будет от 0 до 122 мм, т.е. многоснежный январь вполне возможен. А годовая сумма атмосферных осадков по этому правилу может находиться в интервале от 74 мм до 1270 мм. По всем наблюдениям максимальное значение годовой суммы атмосферных осадков равнялось 933.9 мм (табл.2). Это значит, что возможны годы как с большим, так и с меньшим значениями суммы осадков по сравнению с имеющимися наблюдениями.

Применяя правило трех сигм для января, имеем интервал от -15.9 до +1.5. Это означает, что возможно положительное значение среднемесячной температуры января.

Таблица 3

Статистические характеристики среднемесячной температуры воздуха по данным метеостанции Тверь

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Тверь, весь период наблюдений 1944-2017 гг.													
T_{min}	-20	-19	-11	-0.4	7.2	12.3	14.5	13.4	6.2	-2	-9.3	-16.8	2.0
T_{max}	-2.3	0.5	4.2	10.3	16.0	21.6	24.9	20.2	13.3	8.2	3.4	1.1	6.7
	-8.9	-8.5	-3.10	4.93	12.0	16.2	18.0	16.1	10.5	4.4	-1.7	-6.13	4.52
σ	4.1	4.2	3.1	2.1	2.2	2.0	2.0	1.4	1.5	1.8	2.5	3.7	1.1
Медиана	-8.1	-8.5	-3.1	4.9	11.8	16.1	17.9	16.0	10.7	4.5	-1.5	-5.4	4.5
Тверь, период наблюдений 1944-1960 гг.													
T_{min}	-18	-19	-11	-0.4	8.1	13.8	14.5	13.4	7.9	-0.2	-5.6	-15.1	2.2
T_{max}	-3.8	-2.7	-2.2	7.4	14.6	19.2	20.2	17.6	13	6.6	1.5	0.2	5.1
	-8.9	10.1	-5.3	3.8	10.9	16.2	17.3	15.9	10.2	3.7	2.3	-6.1	3.9
σ	3.9	4.4	2.3	2.2	1.7	1.7	1.5	1.2	1.3	1.7	2.0	3.6	0.8
Медиана	-8	-8.8	-4.9	3.9	10.6	16.1	17.2	15.9	10.6	4.0	-2.2	-5.1	3.8
Тверь, период наблюдений 1961-1990 гг.													
T_{min}	-20.2	-16.0	-10.6	1.8	7.2	12.6	14.9	13.7	6.9	-2.0	-6.9	-16.8	2.0
T_{max}	-2.3	-1.2	1.7	8.3	15.9	19.4	21.3	20.1	12.9	8.2	1.9	0.2	6.6
	-10.5	-9.2	-3.5	4.5	12.0	15.9	17.6	15.6	10.1	4.3	1.9	-6.6	4.1
σ	4.6	3.6	3.	1.7	2.2	2.0	1.6	1.4	1.5	2.0	2.1	3.5	1.1
Медиана	-11.4	-9.8	-3	4.35	12.1	16.1	17.5	15.4	10.1	4.25	-1.75	-6.7	4.1
Тверь, период наблюдений 1991-2017 гг.													
T_{min}	-15.9	-15.6	-8.5	3.7	8.0	12.3	15.0	14.6	6.2	0.8	-9.3	-13.7	4.1
T_{max}	-3.0	0.5	4.2	10.3	16.0	21.6	24.9	20.2	13.3	8.2	3.4	1.1	6.7
	-7.2	-6.8	-1.6	6.1	12.6	16.6	19.1	16.,	11.0	4.8	-1.4	-5.6	5.4
σ	2.9	4.3	2.8	1.8	2.1	1.9	2.1	1.2	1.7	1.7	3.1	4.1	0.7
Медиана	-6.6	-5.1	-1.7	5.8	13.1	16.6	18.5	16.6	11.0	5.0	-1.5	-4.5	5.5

Анализ данных среднемноголетних значений среднегодовых температур воздуха по метеостанции Тверь показывает, что за 45 лет она выросла с 3.86°C в период 1944–1973 гг. до 5.43°C в период 1988–2017 гг. Отсюда можно оценить тренд повышения среднемноголетнего значения среднегодовой температуры в $0.33^{\circ}\text{C}/10$ лет по данным всего периода наблюдений. Если взять периоды 1961–1990 гг. и 1981–2010 гг., то среднемноголетнее значение среднегодовой температуры в эти периоды составляет 4.12°C и 5.04°C соответственно, т.е. 0.9°C за 20 лет или 0.45°C за 10 лет. Таким образом, оценка тренда среднемноголетней среднегодовой температуры воздуха зависит от того, какие периоды наблюдений рассматриваются.

Статистические характеристики среднемесячных значений температуры воздуха и месячных сумм осадков по данным метеостанций Старица и Тверь в целом близки между собой. Для среднемноголетних значений годовых сумм атмосферных осадков в Твери (626 мм) больше по сравнению со Старицей (570 мм), а также в Твери выше разброс значений этой характеристики (в Твери параметр сигма равен 117, а в Старице сигма равна 81).

Сравнивая значения среднемноголетних значений температур воздуха по метеостанциям Старица и Тверь в течение двух периодов: I (1961–1990 гг.) и II (1991–2017 гг.) по данным таблиц 1 и 3 можно

заметить, что в первый период разница в значениях незначительна, во втором периоде разница становится ощутимой: в летние месяцы и среднемноголетнее значение годовой температуры в Твери выше на 0.3°C по сравнению со Старицей, в остальные месяцы разница несущественна.

Таблица 4

Статистические характеристики месячных и годовых сумм осадков по данным метеостанции Тверь

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Тверь, весь период наблюдений 1944-2017 гг.													
AO _{min}	4	4	8	5	14	3	2	1	2	0	2	8	335
AO _{max}	82	76	68	89	172.3	147	242	176	153	166	127	86	925
	36.3	32.2	30.4	34.6	59.3	74.7	84.6	71.1	60.1	56.0	46.8	40.9	626.5
σ	19	18	14	27	17	32	50	40	29	31	24	18	117
Медиана	37	29	28	32	58	74	72	64	57	52	41	40	630
Коэффициент асимметрии	0.2	0.6	0.6	0.8	1.0	0.3	0.9	0.5	0.8	0.9	1.0	0.5	0.1
Тверь, период наблюдений 1944-1960 гг.													
AO _{min}	7	4	8	5	14	32	28	1	26	7	7	8	335
AO _{max}	60	72	56	56	98	143	202	167	130	113	73	58	748
	24.6	27.2	24.7	29.5	52.3	72.4	79	76.3	64.8	47.6	32.9	25.7	557.3
σ	18	21	14	14	24	33	47	45	30	30	18	14	118
Медиана	19	24	21	26	42	69	68	73	61	41	28	25	553
Коэффициент асимметрии	0.9	0.8	1.3	0.1	0.3	0.8	1.1	0.35	0.0	0.6	0.9	0.8	-0.2
Тверь, период наблюдений 1961-1990 гг.													
AO _{min}	4	4	10	5	25	23	34	14	2	0	23	20	473
AO _{max}	71	76	68	89	108	124	242	167	117	100	127	86	778
	37.3	30.1	29	37.5	61.2	72.1	92.5	68.5	56.7	49.1	50.5	47.1	632.7
σ	19	17	13	21	25	30	48	40	28	23	23	18	79
Медиана	38	26.5	25.5	34	59	74	80.5	58.5	57.5	47.5	44.5	44.5	631.5
Коэффициент асимметрии	0.2	0.7	1.0	0.8	0.2	0.1	1	0.6	0.2	0	1.5	0.7	-0.04
Тверь, период наблюдений 1991-2017 гг.													
AO _{min}	11	10	8	77	22	3	2	8	30	16	2	14	450
AO _{max}	82	76	63.8	68.7	172.3	147	237	176.0	153	166	111	80	925.2
	43.64	38.7	33.7	32.4	61.9	77.1	77.	75.5	61.8	66.9	51.9	42.7	661
σ	16	18	14	15	32	35	56	42	30	36	25	17	133
Медиана	42	37	32	32	55	76	67	75	57	57	48	42	660
Коэффициент асимметрии	0	0.5	0.2	0.2	0.1	0.2	0.9	0.4	1.4	1.0	0.4	0.6	0.2

Оценку трендов можно получить как разницу значений в различные периоды, деленную на длительность периода (так считается угловой коэффициент прямой, проходящей через две точки). Сравнивая два периода, можно выполнить оценку тренда изменения среднемноголетнего значения среднегодовой и среднемесячной температур воздуха. Для годовых значений она составляет 0.03°C/год для Старицы и 0.04°C/год для Твери. В зимние месяцы она доходит до 0.1°C/год в январе и для Старицы. и для Твери, в декабре, феврале и марте – 0.05°C/год в Старице, от 0.04 до 0.08°C/год в Твери. В летние и

осенние месяцы наблюдаются практически незначительные тренды. Этот результат подчеркивает особую важность наблюдений в зимнее время и свидетельствует о том, что в регионе верхней Волги существенные климатические изменения произошли зимой.

Изменчивость среднемноголетних значений температуры воздуха и осадков по данным метеостанций Тверь и Старица

Все рисунки в данной статье представлены только для Старицы, поскольку динамика тех же характеристик, рассчитанных по данным Твери – аналогична. Далеко не всегда тренд для среднемноголетней среднемесечной температуры воздуха и осадков является односторонним за весь период наблюдений, часто характер динамики мог быть описан или кубическим полиномом, или параболой разного вида. Тенденция изменения годовых характеристик для температуры воздуха и осадков однозначна на повышение. Результаты расчетов по данным метеостанций Тверь и Старица представлены в табл. 5 и 6. Здесь использовались данные, полученные методом скользящего среднего. Эта методика более полная по сравнению с методикой, основанной на сравнении значений в два фиксированных интервала времени и основанная на сравнении соответствующих значений табл. 1–4 и которая по сути есть частный случай методики с использованием скользящего среднего. В ранее рассмотренной методике имеется всего два значения, а не 30–40, как с использованием метода скользящего среднего.

Таблица 5

Изменчивость среднемноголетних среднемесечных и годовых значений температуры воздуха для Старицы и Твери

Месяц	Старица			Тверь		
	Минимум	Максимум	Тренд	Минимум	Максимум	Тренд
Январь	-9.5	-7	0.09°C/год	-10.5	-7	С 1990 по 2010 гг. 0.15°C/год, далее стабилизация
Февраль	-8.2	-6.6	0.05°C/год	-10	-6.5	С 2010 г. 0.15°C/год
Март	-3.2	-1.6	0.05°C/год	-5	-1.5	0.08°C/год
Апрель	4.7	5.7	0.033 °C/год	4	6	0.04 °C/год
Май	11.6	12.1	Разнонаправ.	11.2	12.6	0.03 °C/год
Июнь	15.5	15.9	Тенденции нет	15.6	16.8	Парабола ветвями вверх
Июль	17	18.2	0.04 °C/год	17.4	19.2	С 2000г. 0.06°C/год

Август	15.3	16	С 2005г рост 0.04 °C/год	15.6	16.8	С начала 2000-х гг. рост 0.07 °C/год
Сентябрь	10	10.6	0.02°C/год	10.2	11	С 2000г. рост 0.05°C/год
Октябрь	4.3	5	синусоида	4	5	Снижение с 2000 гг.
Ноябрь	-2	-1.4	0.03 °C/год	-2.3	-1.5	Кубический полином
Декабрь	-6.6	-5.2	Однозначно й тенденции нет	-7	-5.6	Тенденции нет
Год	4.3.	5	0.02°C/год	3.9	5.5	0.04 °C/год

Как показывают результаты, представленные в табл. 5, во многих месяцах нет однозначно направленной тенденции для обеих метеостанций.

Таблица 6

Изменчивость среднемноголетних месячных и годовых сумм атмосферных осадков по метеостанциям Старица и Тверь

Месяц	Старица			Тверь		
	Минимум	Максимум	Тренд	Минимум	Максимум	Тренд
Январь	35	41	Парабола ветвями вниз, уменьшение	28	44	Повышение с 2000 по 2010 гг.
Февраль	28	35	Уменьшени е — 0.25мм/год	28	40	С 1997 г. рост 0.04 мм./год
Март	26	32	С 1982 г. +0.25мм/год	28	35	С 1997 г. рост 0.03 мм/год
Апрель	32	38	Уменьшени е — 0.2мм/год	32	40	Парабола ветвями вниз или кубический полином
Май	56	66	Резкое повышение с 1990 г. 0.06 мм/год	52	66	Кубически й полином
Июнь	74	86	Тенденции нет	28	35	С 1997 рост 0.03 мм/год
Июль	84	100	Парабола ветвями вниз	75	100	Парабола ветвями вниз
Август	74	88	Разнонаправ .	58	78	Парабола ветвями вверх

Сен-табрь	62	71	Парабола ветвями вниз, уменьшение 1 мм/год	52	66	Парабола ветвями вниз, уменьшение
Октябрь	54	66		48	60	Куб. полином, с 1990 г. рост 0.07 мм/год
Ноябрь	62	71	Парабола ветвями вниз	38	54	Куб. полином, рост 0.05 мм год
Декабрь	45	51	Основной тенденции нет	35	48	Кубический полином
Год	635	680	До 2010г рост осадков примерно 18 мм в год	580	680	18 мм/год Повышение — весь период наблюдений

Если рассматривать весь период наблюдений, то месячная сумма осадков в большинстве случаев не представляет одного направления изменения, тенденция зачастую имеет вид параболы ветвями вниз.

Анализ графиков среднемноголетних значений среднемесячных величин температур воздуха по данным метеостанции Тверь показывает, что наибольший темп роста наблюдается в зимние месяцы, а изменчивость в ноябре и декабре таковы, что даже сглаживание по 30 лет не избавляет графики от пиков.

Выводы

1. Среднемноголетнее значение годовой суммы атмосферных осадков по данным метеостанции Старица примерно до 2010 г. растет со скоростью 18 мм/год, затем медленно снижается, по данным Твери растет за все время наблюдений также со скоростью 18 мм/год.

2. Среднемноголетние величины амплитуд годовых колебаний температуры воздуха по данным обеих метеостанций снизились за весь период наблюдений на 0.8°C.

3. Оценка тренда среднемноголетней среднегодовой температуры воздуха существенно зависит от того, какие периоды наблюдений рассматриваются, и какая методика используется при этом, поэтому требуется регулярный пересчет трендов, желательно, по единой методике.

4. Динамику среднемноголетних значений амплитуд годовых колебаний и среднегодовых величин температуры воздуха можно представить в виде прямой. Методом наименьших квадратов получены

параметры такого представления для значений амплитуды (A) и среднегодовой температуры (B), которые описаны в формулах (2) для Твери и (3) для Старицы. Полученные результаты расчета позволяют выдвинуть предположение о том, что в городе Тверь скорость роста среднемноголетнего значения годовой температуры воздуха несколько выше, по сравнению с естественным фоном, в качестве которого можно взять данные наблюдений у Старицы, а уменьшение амплитуд годовых колебаний несколько ниже. Также из формул (2) и (3) можно оценить тренды среднемноголетних значений температуры воздуха, которые для Твери составляет $0.04^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а для Старицы – $-0.033^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

5. Результаты расчетов по формуле (1) по данным метеостанции Старица показывают, что формула адекватно описывает годовой ход температуры воздуха. Данные среднегодовой температуры воздуха, полученные путем расчетов или рассчитанные по наблюдениям, практически не отличаются. Сдвиг фаз за весь период наблюдений меняется от 4.27 радиан до 4.85 радианы. Амплитуда годовых колебаний меняется от 9.9°C до 17°C за весь рассматриваемый период со средним значением 13.3°C , медианным значением 13.4°C и стандартным отклонением 1.4°C . Среднегодовая температура воздуха меняется от 1.95°C до 6.31°C с медианным значением 4.7°C , средним значением 4.6°C и стандартным отклонением равным 1°C . Анализ годовых колебаний температуры воздуха, рассчитанным по среднемесячным значениям температуры воздуха по данным метеостанции Тверь, показывают, что амплитуда годовых колебаний меняется от 10.6°C до 17.4°C с медианным значением 13.6°C , средним значением 13.6°C и стандартным отклонением 1.3°C . Среднегодовая температура находится в диапазоне от 2°C до 6.7°C с медианным значением 4.4°C со средним 4.5°C и стандартным отклонением 1.14°C . Сдвиг фаз меняется в пределах от 4.03 до 4.36 радианы.

6. Анализ данных среднемноголетних значений среднегодовых температур воздуха по метеостанции Тверь показывает, что за 45 лет она выросла с 3.86°C в период 1944–1973 гг. до 5.43°C в период 1988–2017 гг. Отсюда можно оценить тренд повышения среднемноголетнего значения среднегодовой температуры в $0.33^{\circ}\text{C}/10$ лет по данным всего периода наблюдений. Если взять периоды 1961–1990 гг. и 1981–2010 гг., то среднегодовая температура в эти периоды составляет 4.12°C и 5.04°C соответственно, т.е. 0.9°C за 20 лет или 0.45°C за 10 лет. То есть оценка тренда среднемноголетней среднегодовой температуры воздуха существенно зависит от того, какие периоды наблюдений рассматриваются.

7. Статистические характеристики среднемесячных значений температуры воздуха и месячных сумм осадков по данным метеостанций Старица и Тверь в целом близки между собой. В настоящее время

разница между ними наибольшая в летние месяцы и среднемноголетнее значение годовой температуры в Твери выше на 0.3°C, чем в Старице.

8. Применение правила трех сигм к данным наблюдений за 1991–2017 гг. к среднемесячным значениям температуры воздуха января для Старицы дает интервал от -16.2 до +1.8°C, в который укладываются имеющиеся данные наблюдения за максимальной и минимальной среднемесячными значениями температур воздуха, а также показывает, что в январе возможно положительное значение среднемесячной температуры. Для Твери в январе имеем интервальную оценку среднемесячной температуры воздуха от -15.9 до +1.5°C.

9. Оценку трендов можно вычислить как разницу значений в различные периоды, деленную на длительность периода. Сравнивая два периода можно сделать оценку тренда изменения среднемноголетнего значения температуры воздуха. Для годовых значений она составляет 0.03°C/год для Старицы и 0.04°C/год для Твери. В зимние месяцы она доходит до 0.1°C/год в январе как для Старицы, так и для Твери, в декабре, феврале и марте составляет 0.05°C/год в Старице, а в Твери изменяется от 0.04 до 0.08°C. В летние и осенние месяцы тренды практически незначительные. Этот результат свидетельствует о том, что именно в зимний период происходит наиболее значимое влияние глобального потепления в регионе верхней Волги.

10. Все используемые подходы и полученные результаты могут быть использованы при разработке региональной климатической модели.

Список литературы

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТР). Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных>.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л., Гидрометеоиздат, 1975. 291 с.
3. Гречушкина М.Г., Эдельштейн К.К. Возможные изменения гидрологического режима Рыбинского водохранилища при потеплении климата //Вестник Московского университета, серия 5: География, 2012, №6. С.61–67.
4. Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Кузовлев В.В., Лапина Е.Е., Лапина Л.Э., Чекмарева Е.А. Предварительные результаты исследования закономерностей и факторов формирования гидрохимического режима поверхностных и подземных вод Тверской области //Труды региональных научных проектов Тверской области

- 2018 года в сфере фундаментальных исследований» / Под. ред. Самсонова В.М., Жукова С.В. Тверь, 2018. С. 63–70.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностная оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата Российской Федерации: температура воздуха//Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. т.24, 2011. С. 43–70.
 6. Дубровина Е.С., Моничев А.Я. Анализ динамики температуры приземного слоя атмосферы г.Нижнего Новгорода с 1880 г/ по настоящее время //Приволжский научный журнал, 2008, №4. С. 182–188.
 7. Законнова А.В., Литвинов А.С. Многолетние изменения гидроклиматического режима Рыбинского водохранилища// Сборник трудов ИБВВ РАН, вып. 75(78), 2016. С. 16–22.
 8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика для инженерных работников. М., Физматлит, 2012. 816 с.
 9. Лапина Л.Э., Успенский И.М. Анализ данных по температуре воздуха по данным метеостанции Сыктывкар в период с 1900 по 2015 гг. //Теоретико-групповые методы исследования физических систем: сб. трудов междунар. семинара. Сыктывкар, 2018. С.102–107.
 10. Мяч Л.Т., Болтнева Л.И., Шерстюков Б.Г. Изменения климатических условий и температуры грунтов в районе озера Байкал во второй половине XX и в начале XXI века //Криосфера Земли, 2011, № 1. С.80–90.
 11. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России: Альбом мелкомасштабных карт. – Новосибирск, Гео, 2005. 54 с.
 12. Павлов А.В., Перльштейн Г.З., Типенко Г.С. Актуальные аспекты моделирования и прогноз термического состояния криолитозоны в условиях меняющегося климата //Криосфера Земли, 2010, т. XIV. С.3–12.
 13. Предстоящие изменения климата/ Под ред. М.И.Будыко, Ю.А. Израэля и др. Л., Гидрометеоиздат, 1981. 272 с.
 14. Стонт Ж.И., Чубаренко Б.В. Изменение характеристик температуры воздуха в Калининградской области // Материалы VII Международного Балтийского форума, 2019. С. 390–398.

ANALYSIS OF CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION ACCORDING TO THE DATA OF WEATHER STATIONS STARITSA AND TVER OVER A LONG PERIOD

L.E. Lapina, I.L. Grigorieva

Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Ivankovskaya Research Station, Konakovo

Regional variability of the average annual characteristics of air temperature in the surface layer and precipitation is analyzed based on data from weather stations in Staritsa and Tver, located in the Upper Volga basin. The average annual and average monthly values of the characteristics are analyzed using the moving average method. The 30-year averaging period is considered. Data on the Staritsa weather station from 1962 to 2017 and on the Tver weather station from 1944 to 2017 were analyzed. For Staritsa daily data were used, while for Tver only the average monthly data was used. The surface air temperature data for each year of observations was approximated by a simple sinusoidal function. It is shown that the average annual values of the amplitudes of annual fluctuations for both weather stations tend to decrease, and the average annual values of temperatures tend to increase. The parameters of the linear equations describing the variability of the average annual values of the amplitudes of annual fluctuations and the average annual air temperatures are found using the least squares method. We compared the observation periods from 1961 to 1990 and from 1991 to 2017 for Tver and Staritsa. Statistical characteristics of air temperature and precipitation for both periods are given. Values for both weather stations are compared. It is shown that a significant difference between the air temperature values for both weather stations is observed only in the second period. The average annual precipitation in both cities tends to increase at an average rate of 18 mm /year. Monthly precipitation totals do not have the same trend for all months. The rate of growth of the average annual air temperature in Tver is estimated at $0.04^{\circ}\text{C}/\text{year}$, in Staritsa - $0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$.

Keywords: *air temperature, precipitation, Staritsa, Tver, regional climate changes.*

Об авторах:

ЛАПИНА Лариса Эдуардовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, филиал ИвНИС Института водных проблем Российской академии наук. 171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А, e-mail: l.e.lapina@yandex.ru.

ГРИГОРЬЕВА Ирина Леонидовна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, филиал ИвНИС Института водных проблем Российской академии наук. 171251, Тверская область, г. Конаково, ул. Белавинская, д. 61-А, e-mail: irina_grigorieva@list.ru.