

О СООТНОШЕНИИ МЕЖДУ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬЮ ТЕМПЕРАТУРНЫХ АНОМАЛИЙ И ВЕЛИЧИНОЙ ЭКСТРЕМУМОВ

Оганесян В. В.

Россия, Гидрометцентр РФ

Исследована статистическая структура временных рядов температуры воздуха с суточным разрешением на 9 метеорологических станциях за период с 1961 по 2006 г. Получено количественное соотношение между продолжительностью температурных аномалий и их экстремумами для различных сезонов года. Проведенный анализ также позволил выявить увеличение продолжительности средних многолетних аномалии температуры воздуха с запада на восток.

ВВЕДЕНИЕ. Существующий в настоящее время огромный интерес к изменениям климата в значительной степени обусловлен прежде всего его аномальными проявлениями, в частности, аномалиями температуры и ее экстремальными значениями. Вопрос о том, что представляет собой экстремальное значение, кажется довольно простым. Однако произвольно взятая начальная точка 1 января разбивает зимний сезон, относя его к двум разным годам, в то время как год является естественной единицей периодичности, автоматически определяющей объем выборки ($N=365$), из которой берутся экстремальные значения ежедневных наблюдений. Поэтому в дальнейшем исследуются только сезонные экстремумы и продолжительность аномалии температуры внутри одного сезона. Понятие «экстремальная температура» не имеет однозначного определения и в разных исследованиях трактуется по-разному. В противоположность обычным статистикам, где среднее играет доминирующую роль, в теории экстремальных значений берутся за основу характеристические экстремумы, то есть экстремумы, взятые из данного множества, имеющего данное распределение. В асимптотической теории экстремальных значений мода является наиболее важной средней характеристикой, так как она непосредственно входит в распределения. Содержательный обзор на эту тему, показывающий преимущества и недостатки различных определений, можно найти в [1]. В настоящей работе значения температуры, превышающие 5% и 95% процентиля эмпирического распределения, считаются экстремальными, аналогичное определение содержится в [2-5]. Важнейшие свойства теории статистики экстремальных значений позволяют доказать, что предсказание *числа превышений наибольшей* из наблюдаемых величин (экстремума) надежнее, чем предсказание *числа превышений медианы*, и установить границы возрастания средних значений экстремумов с увеличением объема выборки [7], что создает предпосылки для совершенствования долгосрочных прогнозов погоды.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью настоящего исследования было получение статистических характеристик суточных аномалий приземной температуры воздуха и количественная оценка соотношений между величиной температурных аномалий (величиной экстремума) и их продолжительностью. Следует отметить, что в отечественной литературе этот вопрос практически не изучен. Из зарубежных исследований можно отметить [6], где рассматривалась подобная постановка задачи для территории Венгрии. В частности, автором было получено, что после наблюдаемого значения экстремально низкой температуры зимой или экстремально высокой температуры летом, сохранение знака аномалии в большинстве случаев наблюдалось для периода времени большего, чем 1 месяц. Выявление подобных закономерностей является ценной информацией для разработки методов долгосрочных прогнозов погоды. Такого рода закономерности имеют сезонные особенности, которые были исследованы в настоящей работе.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. Как известно, для получения достоверных статистических оценок, исходные данные должны отвечать некоторым требованиям: наблюдения, из которых выбираются экстремальные значения, должны быть независимыми и проводиться

в идентичных условиях, то есть сравнительный анализ температурных рядов, например, на двух близко расположенных метеорологических станциях не позволит выявить значимых различий между экстремумами. Были исследованы временные ряды средней суточной температуры воздуха с 1961 по 2006 г. включительно в 9 пунктах на территории России, расположенных примерно на одной географической широте с запада на восток: Великие Луки, Москва, Нижний Новгород, Казань, Ижевск, Красноуфимск, Курган, Тара, Томск, что позволило выявить широтные особенности распределения экстремумов. По этим данным были вычислены средние многолетние значения температуры для каждого дня года, исключая 29 февраля.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Значения аномалий средней суточной температуры рассчитывались по следующей формуле:

$$A_{n,i} = T_{n,i} - N_i \quad (1)$$

где $A_{n,i}$ - аномалия i -того дня, $T_{n,i}$ - температура i -того дня n -го года и N_i - значение нормы для i -того дня, рассчитанное по формуле:

$$N_i = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^K \sum_{j=-4}^4 W_j T_{n,i+j} \quad (2)$$

где K - число лет, W_j - весовой коэффициент Гауссового фильтра, рассчитываемого по формуле:

$$W_j = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-k^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

(Гауссов фильтр – сглаживающий фильтр, параметр размера определяет полную ширину на половинной высоте гауссовой кривой). Далее полученные ряды суточных аномалий для каждого сезона каждого года анализировались с целью определения наибольших и наименьших значений (экстремумов). После того, как найденные экстремумы были зафиксированы, определялась продолжительность температурной аномалии, в которой находился найденный экстремум. Был разработан специальный алгоритм пошагового поиска продолжительности сохранения знака, который позволял определять количество дней в исследуемом временном ряду вокруг найденного экстремума до ближайшей смены знака аномалии на противоположный. Полученное количество дней суммировалось и, таким образом, определялась продолжительность аномалии и соответствующий ей сезонный температурный экстремум. В результате были найдены сезонные экстремумы температуры и продолжительности соответствующих им аномалий для каждого из 46 лет в каждом приведенном выше пункте. Таким образом, каждый исходный температурный ряд был преобразован в два ряда: ряд величин сезонных экстремумов (независимая величина) и ряд значений продолжительности соответствующих им аномалий, которые будем считать зависимой величиной. Были получены распределения значений продолжительности аномалий для каждого сезона в каждом названном пункте. Дальнейший анализ этих распределений показал, что значения продолжительности температурных аномалий можно разделить на три группы: 1 группа – до 7-9 дней, 2 – от 9 до 14 дней, 3 – более 14 дней. К первой группе было отнесено более 2/3 всех случаев, третья получилась самая малочисленная и была объединена со второй группой. Попутно анализ продолжительности аномалий выявил их устойчивое возрастание с запада на восток для всех сезонов года – таблица 2. На следующем этапе исследования были установлены количественные зависимости между величиной и продолжительностью выявленных аномалий средней суточной температуры. Для этого был проведен регрессионный анализ в каждой из названных двух групп между величиной температурного экстремума и продолжительностью температурной аномалии. Такой анализ был выполнен для всех указанных пунктов и всех сезонов года. Осредненные по 9 пунктам результаты представлены в таблице 1. Как видно из представленных результатов, корреляция между величиной аномалии и ее продолжительностью в 1 группе для всех

сезонов не значима как для положительных, так и для отрицательных аномалий при 5% уровне значимости. Статистическая значимость найденных коэффициентов корреляции r определялась следующим образом: в качестве критерия при проверке гипотезы используется отношение величины r к его средней квадратической ошибке:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{1-r^2} \quad (4)$$

которая подчиняется распределению Стьюдента.

Найдем расчетные критические значения величины t для уровня значимости $\alpha=0.05$ и числа степеней свободы $k=n-2$. При $t > 2$ значения r статистически значимы

Коэффициенты корреляции во 2 группе значимы для всех сезонов как положительных, так и отрицательных аномалий, причем наибольшая корреляция наблюдается зимой для отрицательных аномалий (0.83), наименьшая – летом также для отрицательных аномалий (0.37).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между величиной экстремума и продолжительностью температурных аномалий

Сезон	Зима		Весна		Лето		Осень	
	+	-	+	-	+	-	+	-
1 группа	0.19	0.28	0.14	0.17	0.11	0.07	0.15	0.22
2 группа	0.64	0.83	0.58	0.61	0.56	0.37	0.61	0.65

Таблица 2. Средняя продолжительность температурной аномалий в днях.

Долгота	Широта	Название	зима		весна		лето		осень	
			+	-	+	-	+	-	+	-
30.6	56.4	Великие Луки	6	8	5	7	5	6	5	5
37.6	55.8	Москва	6	9	6	6	6	7	5	6
43.8	56.2	Н.Новгород	6	9	6	7	6	7	6	6
49.2	55.8	Казань	7	8	7	7	6	7	6	7
53.3	56.8	Ижевск	7	8	7	8	7	7	7	7
57.8	56.6	Красноуфимск	7	9	7	8	8	8	7	8
65.4	55.5	Курган	8	9	8	9	8	9	8	8
74.4	56.9	Тара	9	9	9	9	8	9	8	9
85.0	56.4	Томск	9	10	9	9	9	9	9	9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Зависимость продолжительности аномалии от величины экстремума существует, но только для крупных аномалий – в нашем случае аномалий 2 группы. Это может означать, что для аномалий продолжительностью менее 9 дней величина температурной аномалии не содержит полезного с точки зрения прогноза сигнала. Во второй группе обнаружена статистически значимая связь между продолжительностью аномалии и ее величиной для всех сезонов года, которая наиболее выражена зимой. Средняя продолжительность температурных аномалий для всех сезонов года имеет устойчивую тенденцию роста с запада на восток.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о принципиальной возможности прогнозировать продолжительность температурной аномалии, если ее величина достигла некоторого критического значения.