

УДК 53.043

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФЛУКТУАЦИЙ
СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА

Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Крутских Ю.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический
университет им. Г.Ф. Морозова»

E-mail: rc@icmail.ru

Аннотация: Состояние природных глобальных комплексов оценивается в современных технологиях по изменению основных факторов окружающей среды (температуры, влажности, атмосферного давления). Известно, что мониторинг температуры окружающей среды ведется уже более трех столетий. Однако, по результатам многолетних наблюдений пока не было сформировано фундаментальных моделей процессов изменения суточной температуры в течение года. В работе предлагается анализ зависимости флуктуаций суточной температуры от солнечной активности в рамках стохастической модели. На основе простой концепции были оценены параметры распределения вероятности величины флуктуации суточной температуры в разные месяцы года.

Ключевые слова: средняя температура дня, средняя температура ночи, флуктуации суточной температуры, распределение вероятности, функция Гаусса.

ANALYSIS OF THE MAIN FEATURES OF FLUCTUATIONS
AVERAGE MONTHLY DAILY TEMPERATURE DURING THE YEAR

Kamalova N.S., Evsikova N.Yu., Krutskikh Yu.V.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State
University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»

E-mail: rc@icmail.ru

Summary: In modern technologies, the state of natural global complexes is estimated on the main environmental factors (temperature, humidity, atmospheric pressure) changing. It is known that environmental temperature monitoring has been conducted for more than three centuries. However, according to the results of many years of observations, no fundamental models of the processes of changing the daily temperature during the year have yet been formed. The paper had proposed an analysis of

the dependence of daily temperature fluctuations on solar activity in the framework of the stochastic model. Based on a simple concept, the probability distribution parameters of the fluctuations in the diurnal temperature in different months of the year had estimated.

Keywords: average day temperature, average night temperature, daily temperature fluctuations, probability distribution, Gauss function.

Температура является одним из основных факторов окружающей среды, используемых для оценки состояния таких глобальных природных систем, как экосистемы городов, лесные массивы, моря и т.д. В сочетании с показателями влажности флуктуация этой величины служит основой метеорологических данных, на которых базируются оценки систем прогнозирования пожаров как в нашей стране, так и за рубежом [1-4]. С этой целью сформирован ряд стохастических моделей [5-6], которые позволяют оценить скорость высыхания подстилки или горючих материалов и вероятность глобальных природных изменений, выявить тенденции развития биосистемы Земли в целом. В работе [7] показано, что флуктуации температуры существенно влияют на процессы накопления гумуса в почве. Целый ряд исследований посвящен анализу изменения температуры в различных областях России в течение нескольких (от 4 до 14) десятилетий с целью прогнозирования климатических изменений (например, [8-10]). Есть подходы, обосновывающие корреляцию между изменениями температуры и особенностями инсоляции региона [11]. Однако, информация о фундаментальных моделях процессов, приводящих к флуктуациям суточной температуры в течение года, встречается редко. Целью данной работы является представление концепции, позволяющей выделить основные процессы, влияющие на флуктуации суточной температуры в течение года в Центрально-Черноземном регионе России.

В качестве базового принципа положим, что в рассматриваемом регионе солнечное излучение значительно влияет на температуру окружающей среды. Кроме того, весьма удобно и обоснованно считать, что флуктуации температуры носят стохастический характер, поэтому все модели процессов можно описывать нормальным распределением вероятности (функцией Гаусса). В качестве экспериментальных данных будем использовать данные мониторинга Гисметео [12] о величине среднесуточных температур дня и ночи (после заката Солнца). Таким образом, разность этих температур и будет удобной величиной, для изучения влияния солнечной энергии на температуру воздуха.

Для примера проанализируем данные измерений за 2018 год, который по изменениям температуры был признан вполне типичным без особых аномалий и отклонений, кроме низких температур марта (в отличие от 2010 или 2019 года). Анализ показывают, что средние температуры дня и ночи мало отличаются в ноябре и декабре, довольно близки по величине в январе и феврале и более всего различаются в августе. Поскольку в работе используются стохастические модели, то интересно рассмотреть распределение наиболее вероятной величины дневной флуктуации температуры в течение года (рис. 1). Интересно, что почти полгода наиболее вероятная величина разности средних температур дня и ночи Δt не превышает 2°C ($\Delta t \cong (1 \pm 1)^\circ\text{C}$). Затем происходит ее плавное возрастание и остановка в районе 5°C ($\Delta t \cong (5 \pm 1)^\circ\text{C}$). А в августе наблюдается максимум $\Delta t \cong (10 \pm 1)^\circ\text{C}$. Такая картина повторяется практически каждый год. При этом

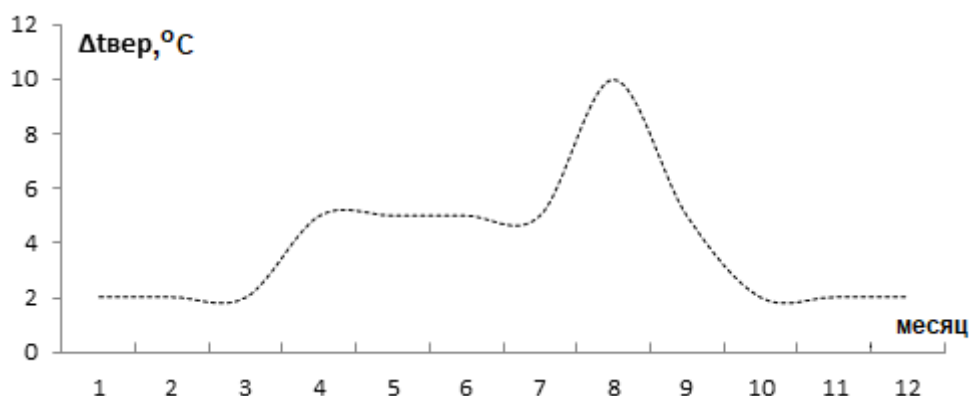


Рисунок 1 – Распределение наиболее вероятной величины дневной флуктуации температуры в течение 2018 года

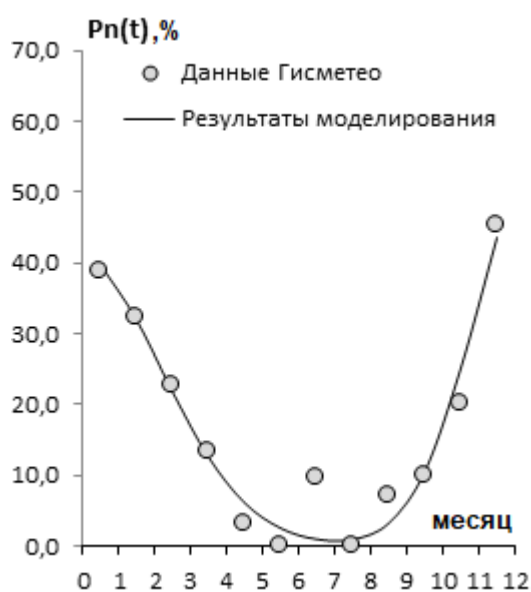


Рисунок 2 – Распределение вероятности $\Delta t < 0$ в течение 2018 года

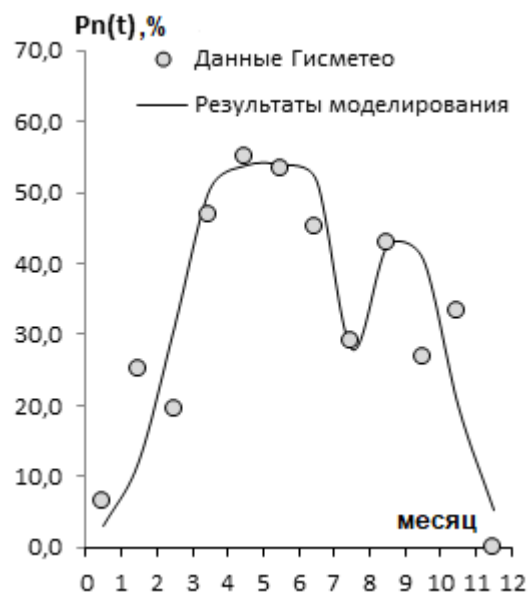


Рисунок 3 – Распределение вероятности $\Delta t \cong (5 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 2018 года

максимальное значение вероятности флуктуаций температуры P_n ни для одного из интервалов не достигает единицы. Например, с октября по декабрь и с января по март дневные флуктуации температуры порой опускались ниже нуля. Другими словами, температура днем была ниже, чем ночью. Этот период совпадает с уменьшением поступающей на Землю солнечной энергии, определяемым движением планеты вокруг Солнца. Однако, вероятность таких флуктуаций для рассматриваемого региона не превышала 50 % (кружки на рис. 2). Моделирование функции распределения вероятности $P_n(t)$ (t – время от начала календарного года, в месяцах) того, что флуктуации температуры в течение года будут меньше 0, суммой функций Гаусса имеет вид

$$P_n(t) = P_m \exp(-(t - t_{01})^2 / \sigma_n) + \hat{P}_m \exp(-(t - t_{02})^2 / \sigma_n) , \quad (1)$$

где три основных параметра каждого слагаемого в распределении P_m и \hat{P}_m ; t_{01} и t_{02} ; σ_n – характеризуют максимальные величины вероятности, время наиболее вероятного наблюдения явления и дисперсию распределений. Модельное распределение (1) (сплошная линия на рис. 2) получено методом минимизации среднеквадратичного отклонения при следующих величинах параметров $P_m = 0,42$; $\hat{P}_m = 0,55$; $\sigma_n = 6$ месяцев. Кроме того, время наиболее вероятного наблюдения явления, что $\Delta t < 0$, приходится на седьмое января с ошибкой до 0,5 месяца. Именно в этот период в Центрально-Черноземном регионе приходящая от Солнца энергия из-за орбитального движения нашей планеты достигает своего минимума. С увеличением длительности дня энергия Солнца, потребляемая поверхностью и атмосферой Земли, увеличивается.

Следующим интересным временем наблюдения является период после весеннего равноденствия (приблизительно с начала апреля), когда происходит плавный переход в новое состояние, характеризуемое большей величиной наиболее вероятного перепада температуры в течение дня ($\Delta t \cong (5 \pm 1)^\circ\text{C}$) (рис. 1). Распределение вероятности наблюдения этого перепада тоже представляет собой сложную функцию (рис. 3). Для понимания формирующих это распределение процессов необходимо выяснить, какие явления вообще могут влиять на величину дневного перепада температуры воздуха у поверхности Земли. Первое явление – это возрастание солнечной энергии, потребляемой атмосферой и поверхностью. Однако, вода обладает очень большой теплоемкостью, а именно в период с апреля до середины июня в Центрально-Черноземном регионе обычно происходят перепады влажности

в атмосфере, вызванные осадками и активизацией процессов испарения влаги с поверхности листьев в силу окончательного формирования листовой. Логично предположить, что именно поэтому увеличение потоков солнечной энергии не приводит к стремительному нарастанию величины флуктуации температуры, и максимальная разность температур дня и ночи наблюдается не в июле (когда день примерно в 2 раза длиннее ночи), а в августе, когда листья начинают утончаться и опадать, что приводит к уменьшению количества влаги, испаряемой с поверхности листовой. Поэтому распределение вероятности максимальной величины ($\Delta t \cong (10 \pm 1)^\circ\text{C}$) исследуемой дневной флуктуации температуры тоже описывается суммой функций Гаусса:

$$P(t) = P_s(t) + P_v(t) , \quad (2)$$

где $P_s(t) = P_{ms} \exp(-(t - t_{0s})^2/\sigma_s)$ – определяется прибавлением длительности дня (линия точек на рис. 4), а $P_v(t) = P_{mv} \exp(-(t - t_{0v})^2/\sigma_v)$ – увеличением влажности атмосферы (пунктирная линия на рис. 4). Обе функции характеризуются своими параметрами. Методом минимизации среднеквадратичного отклонения для модельных функций было получено, что $P_{mv} = 0,81P_{ms}$. Дисперсия первой функции около 4,5 месяцев, а второй всего 1,5 месяца. При этом период наиболее вероятного проявления влияния прибавления длительности дня – июль, а увеличения влажности атмосферы – июнь (рис. 4). Интересно, что функция, связанная с возрастанием влажности атмосферы, существенно влияет на распределение вероятности того, что $\Delta t \cong (10 \pm 1)^\circ\text{C}$, с мая по июль.

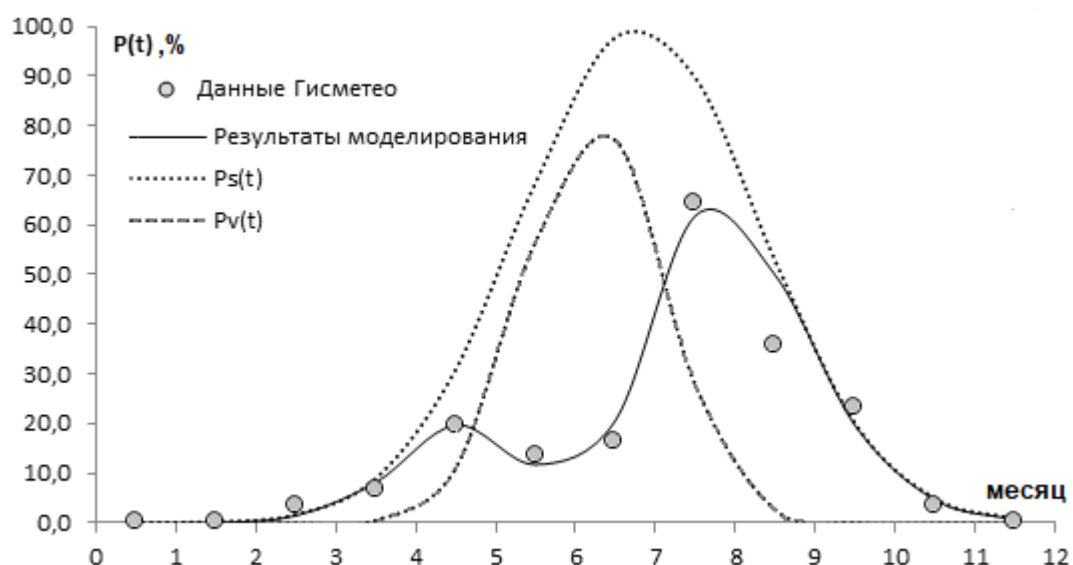


Рисунок 4 – Распределение вероятности $\Delta t \cong (10 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 2018 года

В мае влажность воздуха определяет не столько процесс испарения влаги с поверхности листьев, сколько активизация выпадения осадков. Подобное же явление наблюдается с конца сентября до середины октября. Именно в этот период функция распределения вероятности флуктуации $\Delta t \cong (5 \pm 1)^\circ\text{C}$ достигает второго максимума, правда меньшего по величине, чем первый. Поэтому функция распределения вероятности наблюдения этой величины дневного перепада следует моделировать как

$$P_r(t) = P_1(t) + P_2(t) - \delta P(t), \quad (3)$$

где $P_1(t) = P_{m1} \exp(-(t - t_1)^2 / \sigma_1)$ и $P_2(t) = P_{m2} \exp(-(t - t_2)^2 / \sigma_2)$ – определяются увеличением осадков (рис. 3), а $P(t)$ определяется соотношением (2). Методом минимизации среднеквадратичного отклонения для модельных функций было получено, что $P_{m1} = \delta = 0,65$. Тогда как $P_{m2} = 0,71$. Дисперсия первой функции около 5 месяцев, а второй – около 4 месяцев.

Таким образом, проведенный анализ показал следующее.

1) На формирование наиболее вероятной величины дневного перепада температуры кроме увеличения получаемой поверхностью и атмосферой Земли солнечной энергии оказывает влияние интенсивность осадков и процессы испарения влаги (круговорот воды).

2) Моделирование функций распределения величины наиболее вероятной дневной флуктуации температуры позволяет методом минимизации среднеквадратичного отклонения определять параметры, характеризующие интенсивность и длительность проявления основных процессов, влияющих на состояние окружающей среды, и имеющие простой физический смысл.

3) Подобные исследования подтверждают важность мониторинга температуры воздуха у поверхности Земли в течение года, одной из целей которого может быть сопоставление этих данных с данными о солнечной активности и загрязнении атмосферы для прогноза глобальных экологических изменений.

Исследования проведены в рамках локального гранта ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», выделенного на проект «Разработка принципа работы цифрового устройства для измерения разности потенциалов в ксилеме стволов древесных растений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Perminov, V. Mathematical Modeling of Crown Forest Fire Spread / V. Perminov // *Open Journal of Forestry*. – 2012. – Vol. 2, № 1. – P. 17-22. URL: <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2012.21003>
- 2 Morvan, D. Modeling of fire spread through a forest fuel bed using a multiphase formulation / D. Morvan, J. L. Dupuy // *Combustion and Flame*. – 2001. – Vol. 127. – Iss. 1-2. – P. 1981-1994. DOI : 10.1016/S0010-2180(01)00302-9.
- 3 Martell, D. L. A Markov Chain Model of Day to Day Changes in the Canadian Forest Fire Weather Index / David L. Martell // *International Journal of Wildland Fire*. – 1999. – № 9 (4). – P. 265-273. URL: <http://dx.doi.org/10.1071/WF00020>.
- 4 Софронова, Т. М. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья / Т. М. Софронова, А. В. Волокитина, М. А. Софронов // *География и природные ресурсы*. – 2008. – № 2. – С. 74-80.
- 5 Гришин, А. М. Моделирование и прогноз экологических катастроф / А. М. Гришин // *Экологические системы и приборы*. – 2001. – № 2. – С. 12-21.
- 6 Вонский, С. М. Определение природной пожарной опасности в лесу : методические рекомендации / С. М. Вонский, В. А. Жданко, В. И. Корбут. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1981. – 52 с.
- 7 Анализ влияния изменений среднесуточной температуры воздуха в зимний период на накопление влаги в лесных почвах / Н. Ю. Евсикова, Н. С. Камалова, В. И. Лисицын, Б. М. Кумицкий // *Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции*. – Воронеж, 2013. – № 5 (5). – С. 355-357.
- 8 Назарова, Л. Е. Изменчивость средних многолетних значений температуры воздуха в Карелии / Л. Е. Назарова // *Известия Русского географического общества*. – 2014. – Т. 146. – Вып. 4. – С. 27-33.
- 9 Дудник, С. Н. Климатические региональные и сезонные изменения на территории Тамбовской области / С. Н. Дудник, М. Е. Буковский, Н. А. Галушкина // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского*. – 2013. – № 3 (47). – С. 141-149.
- 10 Кочугова, Е. А. Тенденции изменения годовых экстремумов приземной температуры воздуха на территории Иркутской области / Е. А. Кочугова, Д. А. Кошкин // *География и природные ресурсы*. – 2010. – № 2. – С. 63-69.
- 11 Многолетняя изменчивость температуры воздуха на Крымском полуострове / В. М. Федоров, Р. В. Горбунов, Т. Ю. Горбунова, Н. К. Кононова // *География и природные ресурсы*. – 2017. – № 1. – С. 127-133.
- 12 Gismeteo 2020. Дата обновления: 19.01.2020. URL: <https://www.gismeteo.ru/diary/5026/> (дата обращения: 1.02.2020).