

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 551.583.1

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.03.015>

В.Ф. Мартазінова

Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС Украины и НАН Украины, Киев

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЛЕТНЕГО СЕЗОНА С НАЧАЛА XXI ВЕКА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА МЕТЕОСТАНЦИИ КИЕВ

В.Ф. Мартазінова

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

НЕСТІЙКІСТЬ ДОБОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ЛІТНЬОГО СЕЗОНУ З ПОЧАТКУ XXI СТОЛІТТЯ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА МЕТЕОСТАНЦІЇ КИЇВ

Зміни глобального клімату призвели до того, що середня температура повітря літнього сезону 2001-2018рр. на території України перевищила на $1,5^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}$ середні значення 1961-2000 рр. У роботі наведені результати дослідження нестійкості добової температури повітря літніх місяців, що доповнюють традиційні кліматологічні підходи до оцінки сучасного регіонального клімату. Стійкість температурного режиму розглядається за даними спостережень метеостанції Київ. У більшості випадків на ст. Київ відзначаються різкі зміни температури повітря, що відбуваються на більшій частині території України. Ці зміни формуються меридіональними процесами великомасштабної атмосферної циркуляції. Нестійкість температурного режиму 2001-2018 рр., визначена як зміна температури від доби до доби з амплітудою понад 6°C , супроводжувалася складними метеорологічними умовами впродовж кожного літнього місяця. В результаті цього частота різкої зміни температури повітря від $\pm 6^{\circ}\text{C}$ за одну добу зросла в два-три рази в червні та серпні. Найімовірніший хід добової температури повітря літнього місяця з початку XXI століття розраховано за допомогою критерію аналогічності часових рядів. Сучасні особливості середньодобової температури повітря характеризуються зниженням температури повітря в першій декаді червня, в середині липня і в третій декаді серпня на $3-4^{\circ}\text{C}$ нижче норми, тоді як в інші дні температура була вищою від норми на $3-4^{\circ}\text{C}$, а в окремі дні - на $5-6^{\circ}\text{C}$.

Ключові слова: атмосферна циркуляція; температура повітря; клімат; літній сезон.

V.F. Martazinova

Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv

INSTABILITY OF DAILY SUMMER AIR TEMPERATURE FROM THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY AT KYIV WEATHER STATION

Changes in the global climate have led to the fact that the average air temperature of the summer season of 2001-2018 in Ukraine exceeded by $1.5^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}$ the average values of 1961-2000. The paper presents the results of a study of the variability of daily air temperature in the summer months, complementing the traditional climatological approaches to assessing the current regional climate. The stability of the temperature regime is considered using observations of the Kyiv weather station. In most cases, at st. Kyiv, there are sharp changes in air temperature occurring in most of Ukraine. These changes are formed by the meridional processes of large-scale atmospheric circulation. The revealed instability of the temperature regime of 2001-2018, defined as a change in temperature from day to day with an amplitude of more than 6°C , was accompanied by complicated daily air temperature of the summer month from the beginning of the 21st century was calculated using the criterion for the similarity of time series. Current features of the average daily air temperature are characterized by a meteorological conditions during each summer month. As a result, the frequency of a sharp change in air temperature from $\pm 6^{\circ}\text{C}$ in one day increased two to three times in June and August. The most probable course of the decrease in air temperature in the first ten days of June, in the middle of July and in the third ten days of August at $3-4^{\circ}\text{C}$ below normal, while on other days the temperature is at $3-4^{\circ}\text{C}$ higher than normal, and on some days it is at $5-6^{\circ}\text{C}$ higher.

Keywords: atmospheric circulation; air temperature; climate; summer season.

© В.Ф. Мартазінова, 2019

Вступление

В последние годы большинство научных исследований посвящено изучению температурного режима [1-5] как основного метеорологического фактора, указывающего на изменение климата. Современное состояние атмосферной циркуляции значительно обострило погодные условия во всех регионах земного шара [3,6,7] и, в том числе, на территории Украины [3, 6, 8-10]. В работе приведены результаты исследования устойчивости суточной температуры воздуха летних месяцев, дополняющие традиционные климатологические подходы к оценке современного регионального климата. Влияние экстремальных погодных условий сказывается на здоровье людей, продуктивности сельского хозяйства, возникновении лесных пожаров и, в целом, на социально-экономическом развитии страны.

Материалы и метод исследований

Для того, чтобы определить характер изменения современного температурного режима, в данном исследовании была проанализирована устойчивость температуры воздуха внутри каждого летнего месяца на ст. Киев в период 1987-2018. Устойчивость температурного режима на протяжении каждого летнего месяца в 1987-2018 годах характеризовалась с помощью изменения среднесуточной температуры воздуха от суток к суткам в сторону понижения или повышения от 4°C по данным наблюдений метеостанции Киев. В большинстве случаев на ст. Киев отмечаются резкие изменения температуры воздуха, происходящие на большей части территории Украины. Эти изменения определяются не локальными и мезомасштабными атмосферными процессами, а формируются меридиональными процессами крупномасштабной атмосферной циркуляции.

Поэтому исследование устойчивости летнего температурного режима по ст. Киев позволяет анализировать резкие погодные условия для большей части территории Украины. Для выявления наиболее вероятного состояния температурного режима летних месяцев был применен метод классификации на основе аналогичности метеорологических полей [11].

Современное состояние летнего температурного режима на территории Украины

Резкое повышение глобальной температуры с конца XX столетия сказалось на характере регионального климата Украины. Как видно на *рис. 1*, изменения глобального климата привели к тому, что средняя температура воздуха летнего сезона 2001-2018 гг. на территории Украины превысила на $1,5^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}$ средние значения 1961-2000 гг.

Однако, зная общий характер изменений температуры воздуха летнего сезона недостаточно, чтобы получить более развернутую характеристику современного состояния температурного режима летних месяцев. Если, например, сопоставить это изменение с повышением среднемесячной температуры воздуха июня 2010 г. на 5°C выше нормы, то это не позволит выявить тот факт, что на протяжении месяца отмечалось неоднократное резкое изменение средней суточной температуры воздуха более чем на $\pm 5^{\circ}\text{C}$ за сутки. Так, например, наибольшее понижение среднесуточной температуры от $27,8^{\circ}\text{C}$ до $17,6^{\circ}\text{C}$ отмечалось на ст. Киев в середине июня 2010 г. Как правило, такие перепады температуры сопровождаются различными неблагоприятными погодными условиями. Поэтому средняя температура месяца никогда не определяет температурный режим внутри месяца. Соответственно, повышение среднемесячной температуры воздуха летнего

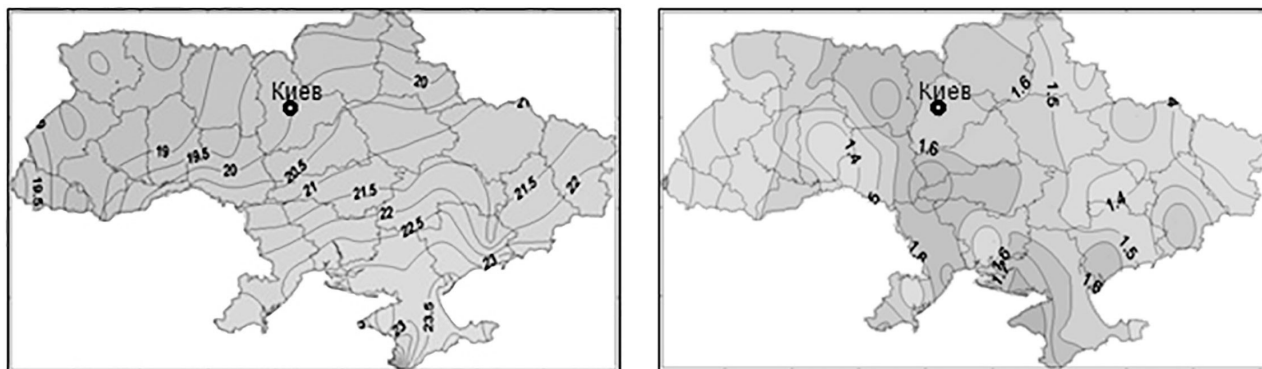


Рис. 1. Средняя температура ($^{\circ}\text{C}$) летнего сезона 1961-2000 гг. (слева) и повышение средней температуры ($^{\circ}\text{C}$) летнего сезона 2001-2018 гг. (справа) относительно 1961-2000 гг. на территории Украины

сезона периода 2001-2018 гг. не раскрывает современный характер изменений температурного режима внутри каждого летнего месяца. Знание погоды внутри месяца играет более важную роль для жизнедеятельности людей по сравнению со средней характеристикой за месяц. Основной характеристикой современного температурного режима может быть его устойчивость от суток к суткам.

Среднеголетняя норма средней суточной температуры воздуха летнего сезона для Киева, рассчитанная для 1 июня и для 31 августа, составляет 17.4 °С, к середине июля норма повышается и составляет около 20.5 °С. Однако, фактическая суточная температура каждого летнего сезона не согласуется с многолетними суточными нормами, а в отдельные дни значительно отклоняется от нее. Рассчитанная нами средняя норма перепада температур от дня ко дню составляет около $\pm 1.5^\circ\text{C}$. Если на протяжении месяца перепады температуры не превышали этого значения, то такой летний месяц определяется как месяц с устойчивым температурным режимом. Случаи с перепадом температуры воздуха за сутки около $\pm 3^\circ\text{C}$ наблюдаются практически в каждом месяце. Для оценки неустойчивости температурного режима внутри месяца учитывается количество перепадов среднесуточной температуры от $\pm 4^\circ\text{C}$ за одни сутки. Ниже приводится результат исследований устойчивости температуры воздуха внутри летнего месяца периода 1987-2018 гг. по ст. Киев

и оценивается устойчивость температуры периода 2001-2018 гг., который соответствует периоду наибольшего глобального потепления [12].

Неустойчивость современного температурного режима июня

На графике (рис. 2) приводятся данные о количестве повышения и понижения среднесуточной температуры воздуха на протяжении летних месяцев (июня, июля и августа) от $\pm 4^\circ\text{C}$ за одни сутки для каждого года периода 1987-2018 гг. Хотя перепады температуры за 2-3 суток могут составлять удвоенное-утроенное значение перепада температуры за сутки, но здесь рассматривается изменения температуры от суток к суткам.

В июне с начала XXI столетия, как показано на рис. 2, в редкие годы наблюдался устойчивый температурный режим. В каждом июне после 2000 года отмечались случаи понижения и повышения температуры за сутки от 4 градусов. Из 20 лет в 16 из них по одному и более случаев в июне наблюдается резкая смена температуры воздуха. Это указывает на то, что современный температурный режим на протяжении месяца имеет неустойчивый характер.

В июле в 2000-2018 гг. отмечается больше лет с устойчивым температурным режимом, чем в период 1987-2000 гг. Однако, в большинстве лет нарушение устойчивости современного температурного режима на протяжении месяца происходит за счет неоднократных резких понижений

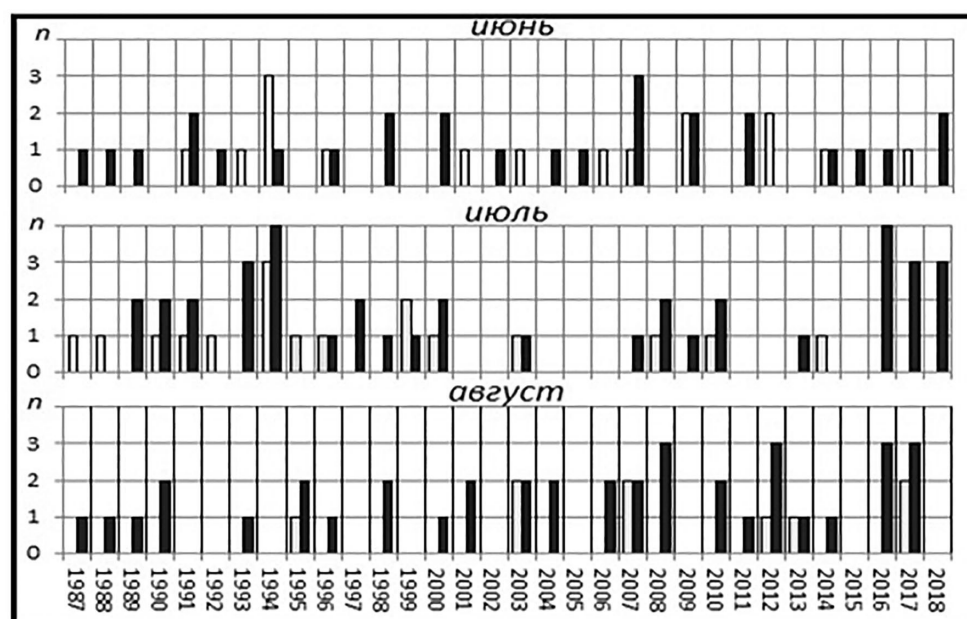


Рис. 2. Количество (n) перепадов среднесуточной температуры от $\pm 4^\circ\text{C}$ за одни сутки (■ - от -4°C и □ - от $+4^\circ\text{C}$) для летних месяцев по ст. Киев

температуры. При этом отметим, что на графике приводится общее число резких перепадов температуры, которые в отдельных случаях превышают перепады средней суточной температуры больше 4°C .

Как видно из рис.2, в августе имеется заметное отличие от предыдущих летних месяцев. Количество случаев перепада средней суточной температуры после 2000 г. возрастает в 2-3 раза. Частота резкой смены температуры воздуха на протяжении месяца увеличилась и поэтому на протяжении месяца каждую неделю возможны резкие перепады температуры. Выявляется, что современный температурный режим августа после 2000 года имеет неустойчивый характер преимущественно за счет резких понижений температуры.

Таким образом, отметим, что ото дня ко дню на протяжении всего летнего сезона современный температурный режим имеет неустойчивый характер, проявляющийся в резких перепадах температуры воздуха и сложных метеорологических условиях на протяжении месяца. Чем больше перепад температуры от суток к суткам, тем сложнее прогнозировать синоптическую ситуацию. Такие перепады в температурном режиме, вне зависимости от того происходит ли это понижение-повышение температуры на фоне выше нормы, в пределах нормы или ниже нормы, сопровождаются сложными метеорологическими условиями, которые формируются неустойчивой и более активной атмосферной циркуляцией.

Перепады температуры воздуха, приводящие к резким сменам температурного режима на протяжении летнего сезона

На рис. 3 показано количество случаев с перепадом среднесуточной температуры воздуха за сутки от $\pm 6^{\circ}\text{C}$ и более. Сравнение рисунков 2 и 3 показывает, что в июне устойчивый температурный режим без перепадов среднесуточной температуры от $\pm 4^{\circ}\text{C}$ за одни сутки был характерен для немногих лет периода 1987-2018 гг. Рисунок 3 показывает, что в июне до 2000 г. отмечалось значительное понижение температуры за сутки в 1996 и в 1998 году, в то время как с середины первого десятилетия XXI века и по настоящее время количество лет со значительными перепадами за сутки увеличилось. Как правило, такие перепады среднесуточной температуры отмечаются кратковременно (до 1-2 суток), но при этом могут сопровождаться штормовыми погодными условиями. В целом температурный режим июня в последние десятилетия становится более неустойчивым со значительными перепадами температуры воздуха от суток к суткам.

Неустойчивость температурного режима июля на протяжении 1987-2018 гг. практически мало меняется. Однако, после 2000 г. значительные перепады среднесуточной температуры воздуха отмечаются в сторону понижения. В результате, в июле на протяжении месяца отмечается резкая неустойчивость температурного режима, характеризующаяся сложной синоптической ситуацией.

Как показано на рис.2, количество лет с

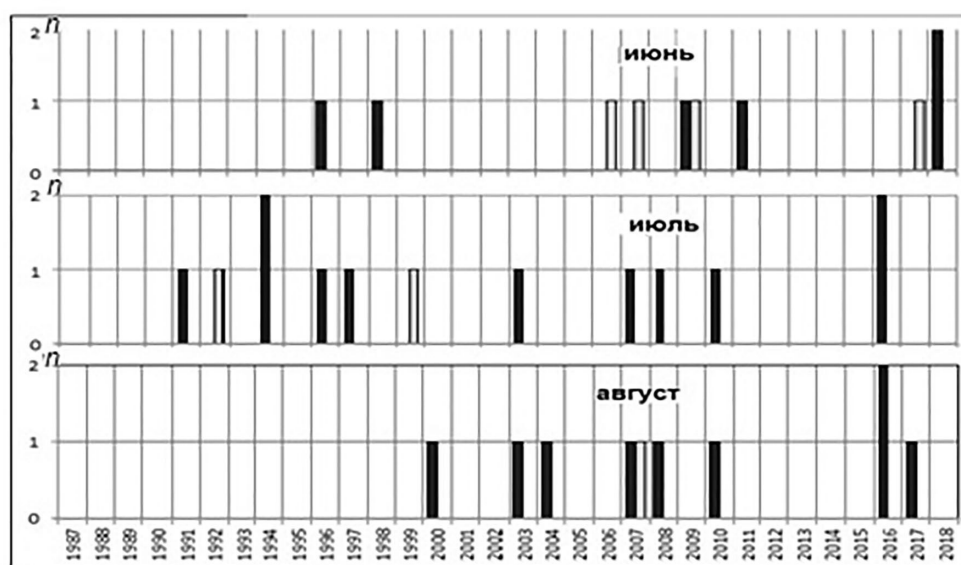


Рис. 3. Количество перепадов среднесуточной температур от $\pm 6^{\circ}\text{C}$ за одни сутки для летних месяцев по ст. Киев (■ - от -6°C и □ - от $+6^{\circ}\text{C}$)

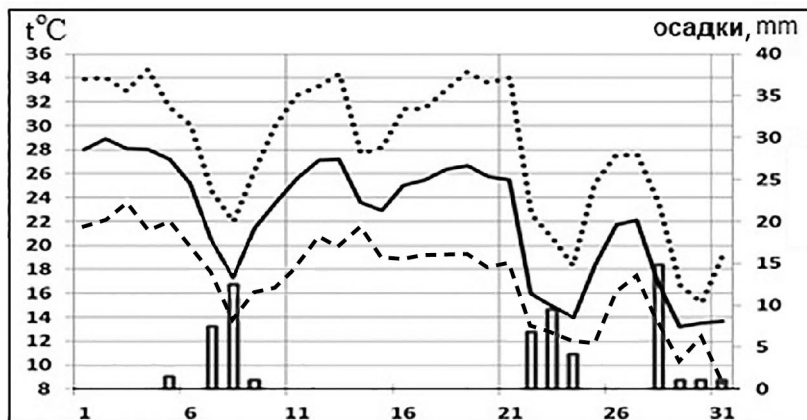


Рис. 4. Максимальная (•••••), среднесуточная (—) и минимальная (---) температура воздуха (t°C), осадки (mm) августа 2017 г. по ст.Киев

перепадами температуры в августе после 2000 г. возросло в 2-3 раза. Частота резкой смены температуры воздуха на протяжении месяца увеличилась, что привело к неоднократным резким изменениям температуры, преимущественно за счет резких понижений. На рис.3 показано, что с 2000 г. появились значительные перепады понижения температуры за сутки. Поэтому с начала нашего столетия в августе характер температурного режима внутри месяца значительно изменился. Пример характера такого изменения приводится на рис. 4 для августа 2017 года по ст. Киев. Неоднократное значительное похолодание сопровождается ливневыми осадками. Несмотря на кратковременность похолоданий, резкая неустойчивость температуры значительно усложняет прогнозирование этого месяца и создает сложности для жизнедеятельности населения.

Классификация температурного режима летнего периода

Чтобы получить более детальную характеристику температурного режима внутри каждого летнего месяца был использован классификатор, предложенный автором в работе [10]. Целью классификации архива временных рядов является разделение их на классы с одинаковым временным распределением. Временные ряды представлены в виде матрицы с элементами x_{ij} , где $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq m$; n - количество рядов; m - количество членов во временных рядах. Отклонение каждого элемента Δx_{ij} временного ряда рассчитывается от среднего значения:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

и записывается как Δx_{ij} .

Затем по знаку отклонения Δx_{ij} рассчитывается критерий сходства между двумя временными рядами i и k :

$$\rho_{ik} = \frac{d_{ik}^+ - d_{ik}^-}{d_{ik}^+ + d_{ik}^-},$$

где d_{ik}^+ и d_{ik}^- - число совпадающих и несовпадающих по знаку отклонения Δx_{ij} и Δx_{kj} от его среднего значения двух временных рядов j и k .

Соответствующая матрица подобия является квадратной и симметричной. Наиболее информативный временной ряд из матрицы выбирается по наибольшему среднему значению из всех строчек матрицы. Критерий схожести >0.3 между наиболее информативным временным рядом (эталон) с другими и формирует класс. Оставшиеся временные ряды делятся на следующие классы с соответствующими эталонами (более подробно см. в [10]).

С помощью данного классификатора можно разделить архив температуры каждого летнего месяца на классы. Каждый класс имеет эталон, который включает наибольшую информативность о всех температурных режимах его архива, а также свою вероятность. Для июня наиболее вероятный класс (вероятность 60%) температурного режима, полученного из временных рядов средней суточной температуры воздуха июня с 2000-2019 гг., представлен на рис. 5.

Как видно из этого рисунка, наиболее характерный температурный режим июня с начала XXI столетия имеет такой тренд: в первой декаде месяца температура воздуха ниже нормы на 3-4 °С, в следующей декаде - в пределах нормы, в третьей декаде отмечается резкое повышение средней суточной температуры воздуха до 27°C,

при которой дневная температура достигает около 30°C и выше. Амплитуда колебания температуры воздуха в этом классе составляет около 14°C. Температурный режим июня 2019 г. относится к классу малой вероятности, однако, температура первой декады также, как и в наиболее вероятном классе, ниже, чем во второй половине месяца, но выше нормы около 4°C. Температура во второй половине месяца отмечалась до 8°C. Поэтому температурный режим 2019 г. не вошел в наиболее вероятный класс температурного режима июня.

Также были проанализированы температурные режимы июля и августа, в результате чего выявлены основные современные особенности в характере температуры этих месяцев. На *рис. 5* показан температурный режим наиболее вероятного класса июля и наиболее вероятного класса августа периода 2000-2018 гг.

Температурный режим июля с вероятностью 62% характеризуется распределением температуры в первой половине месяца ниже нормы до 3°C, во второй – выше нормы почти на 5°C. Амплитуда колебания температуры в июле для наиболее вероятного класса составляет 8°C. Температурный режим наиболее вероятного класса августа имеет

вероятность 78%. На протяжении первых двух декад температура в этом классе имеет очень высокие значения (в пределах 4-5°C выше нормы), тогда как в третьей декаде резко понижается (от 22 °C до 14°C), что соответствует температуре воздуха ниже нормы до 4°C. В июне, июле и августе при высоких среднесуточных температурах воздуха дневная температура воздуха повышается до 30°C и выше.

Выводы

Необходимость в понимании того, что происходит в условиях глобального потепления с климатом Украины летом, особенно в период самых высоких температур воздуха, значительно возросла. Изменение только средней месячной температуры воздуха летних месяцев не показывает всей глубины процессов повышения температуры внутри месяца. Исследование температурного режима внутри каждого летнего месяца за период 2000-2018 гг. показало, что на протяжении каждого месяца температурный режим является резко неустойчивым. Наиболее вероятный ход суточной температуры воздуха летнего месяца с начала XXI столетия рассчитывался с помощью критерия аналогичности временных рядов. Современ-

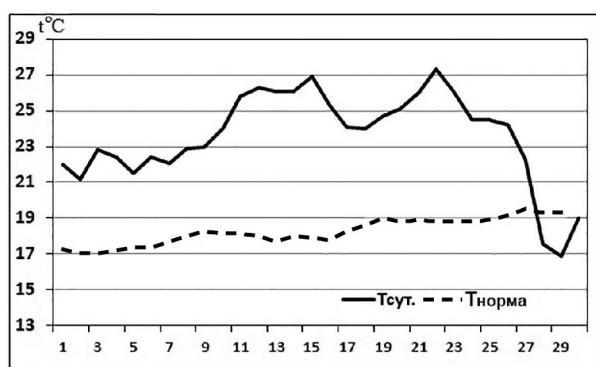
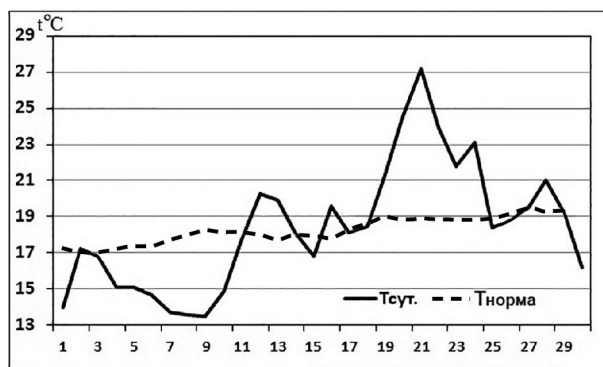


Рис.5. Температурный режим июня наиболее вероятного класса периода 2000-2019 гг. и июня 2019 г. для ст. Киев

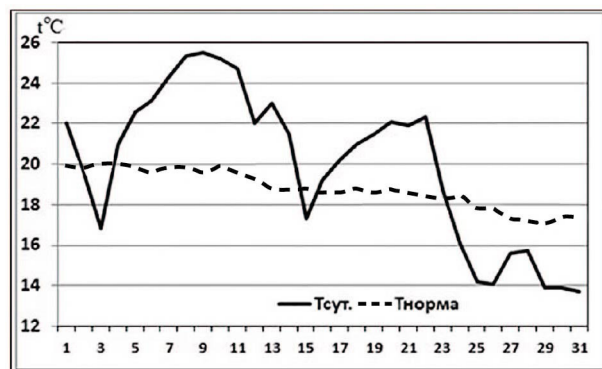
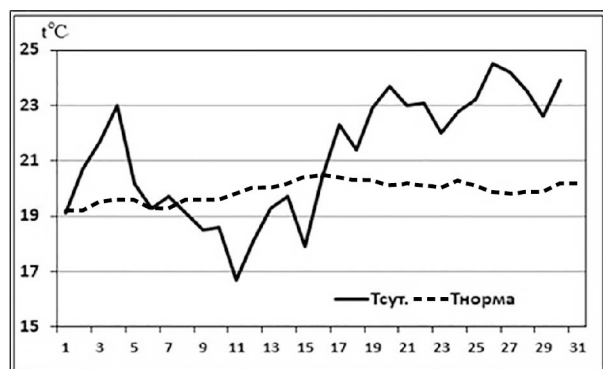


Рис.6. Температурный режим июля и августа наиболее вероятного класса периода 2000-2018 гг. по ст. Киев

ные особенности распределения среднесуточной температуры воздуха летом характеризуются понижением температуры воздуха в первой декаде июня, в середине июля и в третьей декаде августа на 3-4 °С ниже нормы, тогда как в остальные дни температура выше нормы на 3-4 °С, а в отдельные дни – на 5-6 °С. Перепады температуры за несколько суток в сторону повышения и понижения доходят до 10°С. Такая неустойчивость температурного режима в каждом летнем месяце сопровождается резкими сменами погодных условий, приносящими много бедствий в последние годы:

от наводнения до засухи и лесных пожаров. Неоднократные резкие смены погодных условий сказываются на здоровье людей и, в целом, на социально-экономическом развитии страны.

Исследование характера суточной температуры для месяцев зимнего и переходных сезонов значительно дополнит понимание сложного состояния современной климатической системы на территории Украины и составит обоснованную базу для более детальной подготовки к защите населения от стихийных погодных условий и разработке мер адаптации к этим условиям.

References [Література]

1. *The climate of Ukraine.*(2003).Kyiv.343 p. [In Ukrainian]. [Клімат України Київ, 2003. 343 с.]
2. Martazinova V.F., Ivanova E.K., Chayka D.U. (2006). Changes in large-scale atmospheric air circulation throughout the XX-th century and its effect on weather conditions and regional air circulation in Ukraine. *Geophysical Journal*, Vol.28, 1, 51-60. [In Russian]. [Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Чайка Д.Ю. Изменения крупномасштабной атмосферной циркуляции воздуха на протяжении XX века и её влияние на погодные условия и региональную циркуляцию воздуха в Украине // Геофизический журнал. 2006. Т. 28. №1 С. 51-60.]
3. Martazinova V.F., Bahkmutov V.G., Chayka D.U. (2006).The impact of global warming on the change of large-scale atmospheric circulation and the formation of anomaly weather conditions in Ukraine. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 105–110.[In Russian]. [Мартазинова В.Ф., Бахмутов В.Г., Чайка Д.Ю. Влияние глобального потепления на изменение крупномасштабной атмосферной циркуляции и формирование аномальных погодных условий в Украине // Доп. НАН України. 2006. № 2. С. 105–110.]
4. Martazinova V.F., Ivanova E.K. (2010). *Modern climate of the Kiev region*. Kyiv. 58-60. [In Ukrainian]. [Мартазинова В.Ф., Иванова О.К. Сучасний клімат Київської області. Київ. 2010. С. 58-60.]
5. *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018.*(2019). WMO-N1233 (2019). 38 p.
6. Martazinova V.F., Ivanova E.K. (2006). Changes in large-scale atmospheric circulation and their impact on regional circulation and weather conditions. *Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine during the last twenty years (1986-2005):monography*. Kyiv. Part 8. 208-212. [In Ukrainian]. [Мартазинова В.Ф., Иванова О. К. Зміни великомасштабної циркуляції атмосфери та їх вплив на регіональну циркуляцію і погодні умови // Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 pp.): монографія. Київ. 2006. Розд. 8. С. 208-212.]
7. Martazinova V.F., Ivanova E.K., Chayka D.U. (2007). Change of atmospheric circulation over the Northern Hemisphere during the period of global warming in the twentieth century. *Ukrainian geographical journal*, 3, 10-20. [In Russian]. [Мартазинова В. Ф., Иванова Е. К., Чайка Д. Ю. Изменение атмосферной циркуляции в Северном полушарии в течении периода глобального потепления в XX веке // Укр. геогр. журн. 2007. №3. С. 10-20.]
8. Lipinsky V., Martasinova V. (2011). Global and regional climate change. *Atlas Climate and Water Resources of Ukraine*. Kyiv, 69-76. [In Russian]. [Липинский В., Мартазинова В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата // Атлас «Климат и водные ресурсы Украины». Киев, 2011. С. 69-76.]
9. Osadchyi V., Aguilar E., Skrynyk O., Boichuk D., Sidenko V., Skrynyk O. (2018). Daily assimetry of air temperature changes in Ukraine. *Ukrainian geographical journal*, 3, 21-30. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.21> [In Ukrainian]. [Осадчий В.І., Агуілар Е., Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П., Скриник О.Я. Добова асиметрія кліматичних змін температури повітря в Україні // Укр. геогр. журн. 2018. №3. С.21-30. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021>]
10. Osadchyi V., Babichenko V. (2013). The air temperature on the territory of Ukraine in today's climate conditions. *Ukrainian geographical journal*, 4, 32-39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032> [In Ukrainian]. [Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату // Укр. геогр. журн. 2013. №4. С.32-39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>]
11. Martazinova V. F. (2005). The classification of synoptic patterns by method of analogs. *J. Environ. Sci. Eng.* Vol. 7, 61–65.
12. Thomas R. Karl, Anthony Arguez, Boyin Huang, Jay H. Lawrimore, James R. McMahon, Matthew J. Menne, Thomas C. Peterson, Russell S. Vose, Huai-Min Zhang (2015) .Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. *Climate Change*. Vol. 348, 1469-1472.

Статья поступила в редакцию 26.07.2019