

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА  
Географічний факультет  
Кафедра метеорології та кліматології**



**О.Г. Шевченко**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ КУРСУ  
«УРБОМЕТЕОРОЛОГІЯ (URBAN METEOROLOGY)»**

**для студентів ОКР «Магістр»  
спеціальності 103 Науки про Землю,  
ОП Метеорологія**

**КИЇВ – 2020**

УДК 551.584.5 [502.3:504.5 +551.586+551.583]

Рецензенти:

д. геогр. н., професор Сніжко С.І.,  
к. геогр. н., доцент Круківська А.В.

*Рекомендовано до друку вченою радою географічного факультету  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка  
(протокол № 9 від 24.04.2020 р.)*

*Методичні вказівки обговорено й схвалено на засіданні кафедри метеорології та  
кліматології (протокол № 11 від 11.03.2020)*

*Схвалено науково-методичною комісією географічного факультету  
(протокол № 2 від 24.04.2020 р.)*

Шевченко О.Г. Методичні вказівки до вивчення курсу «Урбометеорологія (Urban Meteorology)». – К., 2020, ФОП «Гузик О.М.». – 24 с.

В методичних вказівках розглянуто зміст лекційних занять та самостійної роботи, а також наведено плани семінарських занять дисципліни «Урбометеорологія (Urban Meteorology)». До кожної теми курсу наведені контрольні запитання та рекомендована література. Оскільки, викладання даної дисципліни здійснюється англійською мовою, методичні вказівки містять англо-український словник основних урбометеорологічних термінів.

© О.Г. Шевченко, 2020

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ВСТУП	5
СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	7
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ	9
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1: Urban microclimate and thermal comfort conditions in urban areas	10
Тема 1: Introduction. Urban meteorology as a science	10
Тема 2: Urban microclimate	11
Тема 3: Urban areas thermal comfort	14
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2: Air pollution in big cities and urban vulnerability to climate change	16
Тема 4: Air pollution of big cities	16
Тема 5: Urban vulnerability to climate change	18
ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ НА ЗАЛІК	20
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	22

## ПЕРЕДМОВА

Впродовж останніх десятиліть процес урбанізації відбувається швидкими темпами. Разом зі зростанням розмірів міст зазнають значних змін і компоненти природного середовища – як всередині самого міста, так і на прилеглих до нього територіях. Клімат не є виключенням: заміна природних поверхонь штучними та активна людська діяльність призводять до того, що на території міста встановлюється мікрокліматичний режим, що може суттєво відрізнитися від режиму навколишніх територій. Мікрокліматичні відмінності спричинюють формування специфічного біоклімату урбанізованих територій, а численні джерела забруднення призводять до суттєвого погіршення якості повітря в містах. Якщо перше – впливає на комфортність урбанізованого середовища для проживання, то забруднення повітря може стати причиною розвитку низки серйозних захворювань (або загострення вже існуючих – хронічних) у мешканців міст.

Урбометеорологія – це прикладна наука про атмосферу великого міста, її будову, властивості, фізичні та хімічні процеси і явища, що відбуваються в ній. В сучасній урбометеорології виділяють чотири основні напрямки: мікроклімат міста, біоклімат міста, забруднення атмосферного повітря великих міст та прояв зміни клімату та вразливість міст до них. Загострення урбометеорологічних проблем у містах в останні десятиріччя призвело до зростання кількості досліджень, що присвячені цим питанням, тому може скластися хибне враження, що урбометеорологічні дослідження започатковані відносно недавно. Проте, вони розпочалися понад два століття тому – в 1818 р. Л. Говард вперше виявив існування острова тепла у Лондоні. Починаючи з кінця 60-х рр. і до кінця 80-х рр. ХХ ст. відбулося кілька серйозних наукових конференцій з міського клімату. Ці конференції стали платформою для спілкування урбометеорологів з усього світу і дали серйозний поштовх для розвитку цього наукового напрямку. Зростання міського населення по всьому світу, посилення екологічних проблем у містах, розвиток технічних засобів, що спростили отримання об'єктивної інформації про атмосферу урбанізованого середовища, поява специфічних програм та моделей, що дають змогу отримати значення різноманітних параметрів та показників в десятки і навіть сотні разів швидше, ніж раніше, сприяли активному розвитку урбометеорології в останні кілька десятиліть. Таким чином, на сьогоднішній день урбометеорологія належить до прикладних атмосферних наук, що активно розвиваються, адже, результати урбометеорологічних досліджень становлять не лише наукову, але й практичну цінність: врахування інформації про перебіг атмосферних процесів у нижніх шарах міської атмосфери на етапі проектування забудови допомагає обрати варіант забудови, який забезпечить максимально комфортний біоклімат; розуміння впливу метеорологічних чинників на формування рівня забруднення повітря – визначити оптимальне зонування території міста та вибір місць для розташування нових підприємств чи будівництва доріг; застосування підходів для оцінки вразливості міста до проявів зміни клімату – допоможе правильно визначити пріоритетні напрямки для адаптаційних дій, тощо.

## ВСТУП

Дисципліна «Урбометеорологія (Urban Meteorology)» належить до обов'язкових навчальних дисциплін ОП «Метеорологія» рівня вищої освіти «Магістр» спеціальності 103 Науки про Землю.

**Мета дисципліни** – ознайомити студентів з особливостями формування мікроклімату та біоклімату великих міст, чинниками, що визначають рівень забруднення атмосферного повітря в них, а також вразливістю урбанізованих територій до зміни клімату.

### **Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:**

1. Успішне опанування курсів «Метеорологія», «Кліматологія», «Основи біометеорології».

2. Знання теоретичних основ перебігу атмосферних процесів і явищ; володіння навичками обробки метеорологічної та кліматичної інформації, методами синтезу та аналізу інформації.

**Анотація навчальної дисципліни:** Навчальна дисципліна «Урбометеорологія» є складовою освітньо-професійної програми підготовки фахівців за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр галузі знань: 10–природничі науки, спеціальності: 103–науки про Землю, за освітньою програмою – метеорологія. Навчальна дисципліна присвячена вивченню чотирьох основних напрямків урбометеорології: мікроклімату великого міста та біокліматичним особливостям урбанізованого середовища, якості атмосферного повітря міст та вразливості міст до проявів зміни клімату. Структурно – курс складається з двох змістових модулів.

**Завдання (навчальні цілі):** набуття студентами знань щодо особливостей формування структури та характеристик атмосфери міста; особливостей граничного шару міської атмосфери; формування рівня забруднення атмосфери міста; чинників, які впливають на формування біоклімату великого міста; опанування підходів до розрахунків основних біокліматичних індексів та оцінки вразливості великих міст до проявів зміни клімату.

Згідно вимог Стандарту вищої освіти України другий (магістерський) рівень вищої освіти, галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 103 «Науки про Землю» дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних компетентностей:

#### *інтегральної:*

• здатність розв'язувати складні наукові задачі та практичні проблеми, включно з прийняттям рішень щодо відбору даних та вибору методів досліджень при вивченні геосфер (відповідно до спеціалізації) у різних просторово-часових масштабах із використанням комплексу міждисциплінарних даних та в умовах недостатності інформації;

#### *загальних:*

• вміння виявляти, ставити, вирішувати проблеми та приймати обґрунтовані рішення в професійній діяльності;

- здатність спілкуватися з фахівцями та експертами різного рівня інших галузей знань;

- здатність працювати в міжнародному контексті та в глобальному інформаційному середовищі за фахом;  
*спеціальних (фахових, предметних):*

- знання сучасних засад природокористування, взаємодії природи і суспільства із застосуванням раціонального використання природних ресурсів, екологічних аспектів та основ природоохоронного законодавства;

- вміння застосовувати наукові знання і практично втілювати їх для розробки та впровадження механізмів геопланування, територіального планування, проведення моніторингу розвитку регіонів, складання стратегічних планів і програм.;

- вміння проектувати, планувати і проводити наукові дослідження, здійснювати їх інформаційне, методичне, матеріальне, фінансове та кадрове впровадження у виробництво, писати наукові роботи.

### **Схема формування оцінки**

Контроль знань здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка передбачає дворівневе оцінювання засвоєного матеріалу. Максимальна оцінка становить 100 балів, 60 із яких студент може набрати в ході семестрового контролю і 40 балів – на заліку.

У змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-2, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) – теми 3-5.

**Форми оцінювання студентів:** семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі освоєння матеріалу з двох змістових модулів та виконання індивідуальних творчих робіт.

**Підсумкове оцінювання у формі заліку:** максимальна кількість балів на заліку – 40, мінімальна кількість балів, які додаються до семестрових – 24 (*60 % максимальної кількості балів, відведених на залік*).

До складання заліку з дисципліни допускаються студенти, які впродовж семестру набрали не менш як 36 балів (*60 % максимальної кількості балів, відведених на семестровий контроль*).

Для студентів, які набрали впродовж семестру сумарно меншу кількість балів ніж *критично-розрахунковий мінімум – 36 балів* для складання заліку потрібно повторно пройти поточний контроль знань (наприклад, у вигляді тестування) в установленому порядку.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі контрольних робіт здійснюються у відповідності до «Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу» від 1 жовтня 2010 року.

## СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### **Тема 1: Introduction. Urban meteorology as a science**

Definition of urban meteorology. The object and subject of study. A short characteristic of the main direction of urban meteorology – urban microclimate, air pollution, urban bioclimatology and vulnerability and adaptation of big cities to climate change. Relationships of urban meteorology with other sciences. Emergence of urban meteorology as a science – the most important dates and discoveries. The most powerful scientific centers and researchers in the field of urban meteorology nowadays. Development of urban meteorology in Ukraine. Scales of climatic study. Geometric description of the urban fabric. The urban canyon. Non-canyon urban spaces.

### **Тема 2: Urban microclimate**

Urban surface energy balance (SEB) components. Short-wave (solar) radiation. Long-wave radiation in urban energy balance. Additional factors affecting on urban energy balance (the properties of individual urban facets (albedo); plan area density; building height; city roads orientation; the effect of air pollution on radiant exchange in cities; latent heat flux; anthropogenic heat). The urban heat island (UHI) phenomenon. Types of UHI – a surface heat island, the canopy-layer heat island, the boundary-layer heat island. Urban cool island. UHI mitigation. UHIs and global warming. The effect of urbanization on long-term meteorological records. Urban air flow. Wind near the ground: air-flow and disturbance. Obstruction by an isolated obstacle. Flow around buildings. Wind in the urban canopy. Canyon wind flow regimes. Isolated roughness flow regime. Canyon wind speed attenuation. Influences of wind speed and direction on air pollution level in big city. An overview of tools for the simulation of urban air flow. The research of urban air flow transformation in Ukrainian cities. Precipitation, cloud cover and humidity in urban areas.

### **Тема 3: Urban areas thermal comfort**

Urban bioclimate definition. An influence of different factors on outdoor thermal comfort in urban environments. Methods for human biometeorologically relevant assessment of urban climate. Universal Thermal Climate Index (UTCI). Physiologically equivalent temperature (PET). Mean radiant temperature (MRT). An overview of modern methods for the research of urban bioclimate. Application of the RAYMAN model in urban environments. ENVI-met model capabilities for urban bioclimate research. SOLWEIG as a tool for modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings.

### **Тема 4: Air pollution in big cities**

Characteristics of the main air pollutants. Air pollution influence on human health. Environmental effects of atmospheric air pollution. The main factors affecting air pollution levels. The solar radiation and its influence on the formation of ozone and other secondary photochemical pollutants. The role of inversion layers and height of mixing layers in forming of high level of air pollution. Heat waves effects on the urban air

quality. Diurnal variation of air pollutants concentrations. Seasonal variation of air pollutants concentrations. Factors influence on air pollutants space distribution.

### **Tema 5: Urban vulnerability to climate change**

Factors effecting urban vulnerability to climate change. Direct and indirect impacts of climate change in big cities. Characteristics of the main adverse impact of climate change on large cities – heat stress, flooding, reduced areas and disturbance of biodiversity in urban green areas, extreme weather events, reduced quantity and quality of potable water, increased incidence of infectious and allergic diseases, disturbance of normal operation of urban electric power systems. Methodology for the evaluation of urban vulnerability to climate change. Recommendation for the development of urban adaptation plan. Engineering and technical adaptation measures. Construction and architectural measures. Economic measures. Organizational measure.



## ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРСЬКИХ ЗАНЯТЬ

№ п/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	семінари	С/Р
<b>Змістовий модуль 1: Urban microclimate and urban areas thermal comfort</b>				
1	<b>ТЕМА 1:</b> Introduction. Urban meteorology as a science	2	2	12
2	<b>ТЕМА 2:</b> Urban microclimate	4	4	13
3	<b>ТЕМА 3.</b> Urban areas thermal comfort	2	1	12
	<b>Модульна контрольна робота 1</b>		1	
<b>Змістовий модуль 2: Air pollution in big cities and urban vulnerability to climate change</b>				
4	<b>ТЕМА 4:</b> Air pollution in big cities	4	4	12
5	<b>ТЕМА 5.</b> Urban vulnerability to climate change	2	1	12
	<b>Модульна контрольна робота 2</b>		1	
	<b>ВСЬОГО</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>61</b>

Загальний обсяг **90<sup>1</sup>** год, в тому числі:  
лекцій – **14** год;  
семінарських занять – **14** год;  
самостійної роботи – **61** год;  
консультацій – **1** год.

<sup>1</sup> Загальна кількість годин відведених на цю дисципліну згідно навчального плану.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1:**

### **Urban microclimate and urban areas thermal comfort**

#### **ТЕМА 1: INTRODUCTION. URBAN METEOROLOGY AS A SCIENCE**

##### ***Лекція 1. Urban meteorology as a science (2 год)***

Urban meteorology as a science. Definition of urban meteorology. The object and subject of study. A short characteristic of the main direction of urban meteorology – urban microclimate, air pollution, urban bioclimatology and vulnerability and adaptation of big cities to climate change. Emergence of urban meteorology as a science – the most important dates and discoveries. Scales of climatic study. Geometric description of the urban fabric. The urban canyon. Non-canyon urban spaces.

##### ***Семінар 1. Development of urban meteorology in Ukraine (2 год)***

###### **Seminar plan**

1. Urban microclimate.
2. Air pollution research.
3. Urban human biometeorology.
4. Vulnerability and adaptation to climate change.

##### ***Завдання для самостійної роботи (12 год).***

1. Relationships of urban meteorology with other sciences.
2. Methods of urban meteorology research.

##### **Контрольні запитання та завдання до теми 1:**

1. What is urban meteorology?
2. What does urban meteorology study?
3. What are the main directions of urban meteorology?
4. When were the first research of urban microclimate started?
5. When were the first research of urban air pollution started?
6. What is urban canyon?
7. Which descriptors could be used for characteristic of urban canyons?
8. What are the different types of urban canyons?

##### ***Рекомендована література до теми 1:***

1. Arnfield, A.J., 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int. J. Climatol.* 23, 1–26.
2. Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T.J., 2011. *Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings*. Routledge.
3. Kuttler W. *Stadtklima: Phaenomene und Wirkungen. Klimaenderung und Klimaschutz: Beitragserie.* 2004. Vol. 16 (4). P. 263–274.
4. Landsberg H. E. *The Urban Climate*. New York: Academic Press, 1981. 275 p.
5. Landsberg H. E. *The Urban Climate*. *International Geophysics Series*. 1981. Vol. 28. P. 769–779.

6. Matzarakis A., Matuschek O. Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*. 2011. Vol. 20, No. 1. P. 39–45.
7. Mayer H., Matzarakis A., Izomion M. G. Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer. *Theoretical and Applied Climatology*. 2004. Vol. 76. P. 165–179.
8. Mills, G., 2008. Luke Howard and the climate of London. *Weather* 63, 153–157.
9. Mills, G., 2014. Urban climatology: History, status and prospects. *Urban Climate* 10 (2014) 479–489.
10. Oke, T.R., 2006a. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites, World Meteorological Organization. Instrument and Observing Methods Report No. 81.
11. Oke, T., Klyzik, K., Bernhofer, C., 2006. Editorial: progress in urban climate. *Theoret. Appl. Climatol.* 84, 1–2.
12. Ren, C.R., Ng, E., Katzschner, L., 2011. Urban climatic map studies: a review. *Int. J. Climatol.* 31, 2213–2233.
13. Stewart, I.D., Oke, T.R., 2012. Local climate zones for urban temperature studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 1879–1900

## **Тема 2: URBAN MICROCLIMATE**

### ***Лекція 2. The urban energy balance (2 год).***

Urban surface energy balance (SEB) components. Short-wave (solar) radiation. Additional factors affecting on the urban energy balance (the properties of individual urban facets (albedo); plan area density; building height; city roads orientation; the effect of air pollution on radiant exchange in cities; latent heat flux; anthropogenic heat).

### ***Семінар 2. The urban heat island phenomenon (2 год).***

#### **Seminar plan**

1. Types of urban heat island.
2. The formation of urban heat islands and factors affecting their intensity.
3. Urban cool island.
4. Urban heat island mitigation.

### ***Завдання для самостійної роботи (7 год.)***

Long-wave radiation in urban energy balance.

### ***Лекція 3. Urban air flow (2 год).***

Wind near the ground: air-flow and disturbance. Obstruction by an isolated obstacle. Flow around buildings. Wind in the urban canopy. Canyon wind flow regimes. Isolated roughness flow regime. Canyon wind speed attenuation.

#### ***Семінар 4. Urban air-flow (2 год).***

##### **Seminar plan**

1. Influences of wind speed and direction on air pollution level in big city.
2. An overview of tools for the simulation of urban air flow.
3. The research of urban air flow transformation in Ukrainian cities.

##### ***Завдання для самостійної роботи (6 год.)***

1. UHIs and global warming.
2. Precipitation, cloud cover and humidity in urban areas.

##### **Контрольні запитання та завдання до теми 2:**

1. What are the main components of urban energy balance?
2. What are the factors affecting absorption of solar radiation in big cities?
3. What is albedo of urban surfaces?
4. Please describe the role of buildings height and road orientation in income solar radiation on different surfaces in the city.
5. What are the factors affecting intensity of long-wave radiation in urban energy balance?
6. How does air pollution affect energy balance of big cities?
7. What is the urban heat island phenomenon?
8. What are the types of UHI?
9. What is urban cool island?
10. Please describe relationships between UHI and global warming.
11. What are the main factors affecting formation and intensity of UHI?
12. Please describe the wind regime in urban canyons.
13. How does urban geometry effect on wind characteristics?
14. How can be estimated the roughness parameters of a given urban surface?

##### ***Рекомендована література до теми 2:***

1. Erell E., Pearlmutter D., Williamson T. Urban Microclimate. London, Washington, DC: Earthscan. – 2012. – 261 p.
2. Climate Booklet for Urban Development: References for Zoning and Planning. Baden-Württemberg Innen Ministerium. Stuttgart, 2004.
3. Holmes J. Wind loading of structures. 2007. Taylor & Francis, London.
4. Kobayashi S., Morikawa K. Convective heat transfer coefficient of rooftop surface in downward heat flow // Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering. 2000. Vol. 536. P. 21–27.
5. Kuttler W. Stadtklima: Phaenomene und Wirkungen. *Klimaaenderung und Klimaschutz: Beitragserie*. 2004. Vol. 16 (4). P. 263–274.
6. Landsberg H. E. The Urban Climate. New York: Academic Press, 1981. 275 p.
7. Landsberg H. E. The Urban Climate. *International Geophysics Series*. 1981. Vol. 28. P. 769–779.
8. MacDonald R.W., Griffiths R.F., Hall D.J. An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. *Atmospheric Environment*. 1998. Vol. 32, no 11. P. 1857–1864.

9. Matzarakis A., Matuschek O. Sky view factor as a parameter in applied climatology – rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*. 2011. Vol. 20, No. 1. P. 39–45.
10. Mayer H., Matzarakis A., Izomion M. G. Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer. *Theoretical and Applied Climatology*. 2004. Vol. 76. P. 165–179.
11. Montavez J. P., Rodriguez A., Jimenez J. I. A study of urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology*. 2000. Vol. 20. P. 899–911.
12. Oke T. R. Boundary layer climates. 2nd edn. London: Routledge, 1988. 435 p.
13. Oke T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1982. Vol. 108 (455). P. 1–24.
14. Oke T. R., Mills G., Christen A., Voogt J. A. Urban Climates. Cambridge University Press, 2017. 546 p.
15. Pearlmutter D., Berliner P., Shaviv E. Evaluation of urban surface energy fluxes using and open-air scale model // *Journal of Applied Meteorology*. 2005. Vol. 44. P. 532–545.
16. Rotach M. On the influence of the urban roughness sublayer on turbulence and dispersion. *Atmospheric Environment*. 1999. Vol. 33. P. 4001–4006.
17. Shishegar N. Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Journal of Clean Energy Technologies*. 2013. Vol. 1, No. 1. P. 52–56.
18. Taha H. Urban climates and heat island: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat. *Energy and buildings*. 2005. Vol. 3. P. 99–103.
19. Виставна Ю. Ю., Бірюков О. В., Зубкович С. О. Аспекти вітрового режиму урбанізованого міста. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Екологія. 2014. Вип. 11. С. 70–73.
20. Клімат Києва/ за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. Київ: Ніка-Центр, 2010. 320 с.
21. Шевченко О. Г. Аналіз ролі метеорологічного потенціалу у формуванні забруднення атмосфери. Вісник Київського університету. Серія: Географія. 2007. № 54. С. 44–46.
22. Шевченко О. Г., Сніжко С. І. Вплив напрямку та швидкості вітру на рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва. Український гідрометеорологічний журнал. 2008. № 3. С. 33–38.
23. Bruse M. 2020. ENVI-met website. <http://www.envi-met.com>
24. Salata F., Golasia L., de Lieto Vollaro R., de Lieto Vollaro A. Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI-met simulation outputs to experimental data. *Sustainable Cities and Society*. 2016. Vol. 26. Pp. 318-343.
25. Kang K.-N., Song D., Schiavon S. Correlations in thermal comfort and natural wind. *Journal of Thermal Biology*. 2013. Vol. 38(7). Pp. 419–426.

## **ТЕМА 3. URBAN AREAS THERMAL COMFORT**

### ***Лекція 4. Urban bioclimate (2 год)***

Urban bioclimate definition. An influence of different factors on outdoor thermal comfort in urban environments. Mean radiant temperature (MRT). Thermal indices: Universal Thermal Climate Index (UTCI), Physiological Equivalent Temperature (PET).

### ***Семінар 4. Modern methods for the research of urban bioclimate (1 год).***

#### **Seminar plan**

1. An overview of modern methods for the research of urban bioclimate.
2. Application of the RAYMAN model in urban environments.
3. ENVI-met model capabilities for urban bioclimate researches.
4. SOLWEIG as a tool for modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings.

### ***Завдання для самостійної роботи (12 год).***

1. Methods and approaches for the calculation of mean radiant temperature.
2. Models for the simulation of MRT.

### **Контрольні запитання та завдання до теми 3:**

1. What is urban bioclimate?
2. What are the factors affecting human thermal comfort in the city?
3. What is Universal Thermal Climate Index?
4. How physiologically equivalent temperature can be calculated?
5. What is mean radiant temperature?
6. Which bioclimatological indices could be calculated using module «Leonardo» of Envi-Met model?
7. How can be calculated PMV, PET and MRT utilizing RayMan Model?

### ***Рекомендована література до теми 3:***

1. Bröde P., Fiala D., Błażejczyk K., Holmér I., Jendritzky G., Kampmann B., Tinz B., Havenith G., Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*. 2012. Vol. 56, no. 3. Pp. 481–494.
2. Błażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P., Fiala D., Havenith G., Epstein Y., Psikuta A., Kampmann B. An introduction to the universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica Volume*. 2013. Vol. 86, Issue 1, pp. 5–10.
3. Envi-met. Home [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.envi-met.com/> – Назва з екрану.
4. Höppe, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*. 1999. Vol. 43(2). Pp. 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
5. Kántor N., Unger J. The most problematic variable in the course of human-biometeorological comfort assessment – the mean radiant temperature // *Central European Journal of Geosciences*. 3(1). 2011. 90-100.

6. Katerusha, O., Matzarakis, A. Thermal bioclimate and climate tourism analysis for Odessa, Black Sea. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 2015. Vol. 97(4). Pp. 671–679.
7. Krüger, E.L., Minella, F.O., Matzarakis, A., Comparison of different methods of estimating the mean radiant temperature in outdoor thermal comfort studies. *International Journal of Biometeorology*. 2014. Vol. 58(8). Pp. 1727–1737. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0777-1>
8. Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*. 1999. Vol. 43. Pp. 76–84.
9. Mayer H. Urban bioclimatology. *Experientia*. 1993. Vol. 49. P. 957–963.
10. Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.P., Matzarakis, A. Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *Science of the Total Environment*. 2018. 631-632, 390-406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
11. RayMan – Modelling Mean Radiant Temperature and Thermal Indices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman/intro.htm> – Назва з екрану.
12. Shevchenko O., Snizhko S., Matzarakis A. Recent trends on human thermal bioclimate conditions in Kyiv, Ukraine. *Geographia Polonica*. 2020. Vol. 93, Issue 1, pp. 89-106 <https://doi.org/10.7163/GPol.0164>

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2:**

### **Air pollution in big cities and urban vulnerability to climate change**

#### **ТЕМА 4. AIR POLLUTION IN BIG CITIES**

##### ***Лекція 5. Air pollution in big cities (2 год)***

Definition of urban air pollution. Characteristics of the main air pollutants. Air pollution influence on human health. Environmental effects of atmospheric air pollution. The main factors affecting air pollution levels.

##### ***Семинар 5. Air pollution in big cities (2 год)***

###### **Seminar plan**

*Each student must choose one city and prepare a short presentation on air pollution in the city according to the following plan:*

1. The main sources of air pollution in the city.
2. Current air pollution level.
3. Long-term analysis of air pollutants concentrations.
4. Seasonal variability of air pollution level.

##### ***Лекція 6. The influence of meteorological conditions on air pollution level in urban areas (2 год)***

The solar radiation and its influence on the formation of ozone and other secondary photochemical pollutants. The role of inversion layers and height of mixing layers in forming of high level of air pollution. Heat waves effects on the urban air quality.

##### ***Семинар 6. Spatio-temporal changes in air pollution level within urban areas (2 год)***

###### **Seminar plan**

1. Diurnal variation of air pollutants concentrations.
2. Seasonal variation of air pollutants.
3. Factors affecting on air pollutants space distribution.

##### ***Завдання для самостійної роботи (12 год).***

1. Ozone and formaldehyde as secondary photochemical pollutants.

##### **Контрольні запитання та завдання до теми 4:**

1. Please describe the best and suitable meteorological conditions for the formation of ozone and other secondary photochemical pollutants in polluted urban boundary layer.
2. What is the height of mixing layer? How it can be calculated?
3. Please describe positive and negative impact of different types of inversion layers on air pollution level.
4. Why does level of pollution increase during heat wave cases?
5. How does air pollution affect health?
6. How does foggy wet weather affect air pollution level?



7. Please describe seasonal variation of main air pollutants.
8. Please explain factors influence on nitrogen dioxide space distribution.

***Рекомендована література до теми 4:***

1. A Dictionary of Chemistry. Oxford University Press, 2000. 280 p.
2. Bai L., Wang J., Ma X., Lu H. Air pollution forecasts: An Overview. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018. Vol. 15. 780. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040780>.
3. Bergin M. S., West J. J., Keating T J., Russell A. G. Regional Atmospheric Pollution And Transboundary Air Quality management. Annual Review of Environment and Resources. 2005. Vol. 30. P. 1–37.
4. Daly A., Zannetti P. Air Pollution Modeling – An overview. In: Ambient air pollution. P. Zanetti, D. Al-Ajmi, S. Al-Rashied (eds.), ASST. 2007. 341 p.
5. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. Official Journal of the European Union, L 152/1–L 152/44. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0050&from=EN> (дата звернення: 25.08.2019).
6. Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Report on a WHO working group. – Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2003 (EUR/03/5042688) URL: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/112199/E79097.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf) (дата звернення: 25.08.2019).
7. Grice S., Stedman J., Kent A., Hobson M., Norris J., Abbott J., Cooke S. Recent trends and projections of primary NO<sub>2</sub> emissions in Europe. Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43, No 13. P. 2154–2167.
8. Kessler C., Niederau A., Scholz W. Estimation of NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> relations of traffic emissions in Baden-Wurttemberg from 1995 to 2005. 2nd Conference on Environment & Transport: proceedings. (Reims, France, 12–14 June 2006). France, Reims. P. 101–105.
9. Kuttler W., Strassburger A. Air pollution measurements in urban parks. Atmospheric Environment. 1999. Vol. 33, No. 24–25. P. 4101–4108.
10. Makra L., Mayer H., Mika J., Sánta T., Holst J. Variations of traffic related air pollution on different time scales in Szeged, Hungary and Freiburg, Germany. Physics and Chemistry of the Earth. 2010. Vol. 35. P. 85–94.
11. Mayer H., Haustein C. Air pollution caused by motor-traffic in urban space. Meteorologische Zeitschrift. 1994. Vol. 3. P. 138–142.
12. Meteorological and Air Quality Models for Urban Areas/ eds. A. Baklanov, S. Grimmond, A. Mahura, M. Athanassiadou. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. 184 p.
13. Seinfeld J. H. Atmospheric chemistry and physics of air pollution. New York: John Wiley, 1986. 738 p.
14. Tiwary A., Williams I. Air Pollution: Measurement, Modelling and Mitigation, Fourth Edition. – Boca Raton: CRC Press, 2018. 722 p.
15. The World Atlas of Atmospheric Pollution/ Eds.: Sokhi R. S. Anthem Press, 2008. 345 p.

16. The Quality of Air in World Megacities (based on WHO/UNEP data, 1992). Department for Environment Food & Rural Affairs of the United Kingdom. URL: <http://www.air-quality.org.uk/11.php> (дата звернення: 25.08.2019).

## **Тема 5: URBAN VULNERABILITY TO CLIMATE CHANGE**

### ***Лекція 7. Urban vulnerability to climate change (2 год).***

Factors effecting urban vulnerability to climate change. Direct and indirect impacts of climate change in big cities. Characteristics of the main adverse impact of climate change on large cities – heat stress, flooding, reduced areas and disturbance of biodiversity in urban green areas, extreme weather events, reduced quantity and quality of potable water, increased incidence of infectious and allergic diseases, disturbance of normal operation of urban electric power systems. Methodology for the evaluation of urban vulnerability to climate change.

### ***Семінар 7. Development of a climate change urban adaptation plan (1 год).***

#### **Seminar plan**

1. The main principles for the development of a climate change urban adaptation plan.
2. Types of adaptation measures.
3. A role of economic measures in decreasing of urban vulnerability to climate change.
4. Measures for adaptation to heat stress.

### ***Завдання для самостійної роботи (12 год)***

1. Measures for adaptation to flooding.
2. Measures for adaptation of urban energy systems.

### **Контрольні запитання та завдання до теми 5:**

1. What is a vulnerability of big cities to climate change? What are the factors affecting it?
2. What are the main potential negative effects of climate change in urban areas?
3. Please characterize direct and indirect impact of climate change on urban areas.
4. Please characterize meteorological and social factors which can affect the vulnerability of a city to heat stress.
5. What are the main potential reasons of urban flooding?
6. Please describe the relationships between climate change and growth of allergic diseases in urban areas?
7. What is the climate change urban adaptation plan? What is the procedure of its preparation?
8. What are the types of adaptation measures to climate change?
9. What is Heat Health Warning System? What are the main principles of it creating?
10. Please describe the adaptation measures which can minimize a few negative impacts of climate change in a big city.

**Рекомендована література до теми 5:**

1. Adger W.N., Arnell N.W., Tompkins E.L. Successful adaptation to climate change across scales / W.N. Adger, N.W. Arnell, E.L. Tompkins // Global Environment. – 2005. – Vol. 15. – Pp. 77–86.
2. Climate change and urban energy systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uccrn.org/wp-content/uploads/2011/06/ARC3-Chapter-4.pdf> . – назва з екрану.
3. Kovats R.S., Kristie L.E. Heatwaves and public health in Europe [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eurpub.oxfordjournals.org/content/16/6/592.full> – Назва з екрану
4. Shevchenko O. National Climate Vulnerability Assessment: Ukraine Monograph / O. Shevchenko – К.: Myflaer, 2014. – 60 p.
5. Shevchenko O. Long-term analysis of heat waves in Ukraine / O. Shevchenko, Lee H. , Snizhko S. , Mayer H. // International Journal of Climatology. – 2014. – Vol. 34 (5). – Pp. 1642–1650.
6. Shevchenko O., Snizhko S. Vulnerability and Adaptation in the Ukrainian Cities under Climate Change The 9<sup>th</sup> International Conference of Urban Climate: proceedings of the conference [Електронний ресурс], 20-24 July 2015, France, Toulouse. – USB-флеш-накопичувач. – Заголовок з етикетки диску.
7. Urban adaptation to climate change in Europe // Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies // EEA Report No 2/2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change> – Назва з екрану.

## ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ НА ЗАЛІК:

1. Urban meteorology as a science. Definition of urban meteorology. The object and subject of study.
2. A shot characteristic of the main direction of urban meteorology.
3. Scales of climatic study.
4. Geometric description of the urban fabric. The urban canyon. Non-canyon urban spaces.
5. Development of urban meteorology in Ukraine.
6. Methods of urban meteorology research.
7. Urban surface energy balance components.
8. Short-wave (solar) radiation in urban areas.
9. Factors affecting on the urban energy balance.
10. The urban heat island phenomenon.
11. Definition and types of urban heat island.
12. The formation of urban heat islands and factors affecting their intensity.
13. Urban cool island.
14. Urban heat island mitigation.
15. Long-wave radiation in urban energy balance.
16. Wind near the ground: air-flow and disturbance.
17. Obstruction by an isolated obstacle.
18. Air flow around buildings.
19. Wind in the urban canopy.
20. Canyon wind flow regimes.
21. Isolated roughness flow regime.
22. Canyon wind speed attenuation.
23. Influences of wind speed and direction on air pollution level in big city.
24. Tools for the simulation of urban air flow.
25. UHIs and global warming.
26. Precipitation, cloud cover and humidity in urban areas.
27. Urban bioclimate. An influence of different factors on outdoor thermal comfort in urban environments.
28. Mean radiant temperature. Methods and approaches for the calculation of MRT.
29. Universal Thermal Climate Index.
30. Physiological Equivalent Temperature.
31. Modern methods for the research of urban bioclimate.
32. Characteristics of the main air pollutants.
33. Air pollution influence on human health.
34. Environmental effects of atmospheric air pollution.
35. The main factors affecting air pollution levels.
36. The solar radiation and its influence on the formation of ozone and other secondary photochemical pollutants.
37. The role of inversion layers and height of mixing layers in forming of high level of air pollution.
38. Heat waves effects on the urban air quality.

39. Diurnal variation of air pollutants concentrations.
40. Seasonal variation of air pollutants.
41. Factors affecting on air pollutants space distribution.
42. Factors effecting urban vulnerability to climate change.
43. Direct and indirect impacts of climate change in big cities.
44. Characteristics of the main adverse impact of climate change on large cities.
45. Methodology for the evaluation of urban vulnerability to climate change.
46. The main principles for the development of a climate change urban adaptation plan.
47. Types of adaptation measures.
48. A role of economic measures in decreasing urban vulnerability to climate change.
49. Measures for adaptation to heat stress.
50. Measures for adaptation to flooding.
51. Measures for adaptation urban energy systems.

## СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Absorbed solar radiation	поглинуте сонячне випромінювання
Absorption	поглинання
Acid precipitation	кислотні опади
Advection	адвекція
Advective fog	адвективний туман
Aerosol	аерозоль
Air-flow	повітряний потік, вітер
Air pollution	забруднення атмосферного повітря
Air pollution source	джерело забруднення атмосфери
Air pressure	атмосферний тиск
Air temperature	температура повітря
Albedo	альbedo
Albedo of the surface	альbedo поверхні
Anticyclone	антициклон
Anthropogenic heat flux	антропогенні потоки тепла
Atmosphere stratification	стратифікація атмосфери
Blocking anticyclone	блокуючий антициклон
Body's heat balance	тепловий баланс тіла людини
Boundary layer	граничний шар атмосфери
Canyon axis	вісь каньйону
Climate	клімат
Climatic conditions	кліматичні умови
Cloud	хмара
Cold	холодний
Dew	роса
Diffuse solar radiation	розсіяна сонячна радіація
Direct solar radiation	пряма сонячна радіація
Diurnal variation	добовий хід
Dry deposition	сухе осадження
Energy balance equation	рівняння енергетичного балансу
Evaporation	випаровування
Fog	туман
Global warming	глобальне потепління
Global climate	глобальний клімат
Greenhouse effect	парниковий ефект
Haze	димка
Heat advection	адвекція тепла
Heat wave	хвиля тепла
High-pressure zone	зона високого тиску
Humidity	вологість
Human energy balance	енергетичний баланс людського

	організму
Human thermal comfort	тепловий комфорт людини
Insolation	інсоляція
Inversion	інверсія
Latent heat flux	приховане тепло
Leeward side	підвітряна сторона
Long-wave radiation	довгохвильова радіація (випромінювання земної поверхні)
Low-pressure zone	зона низького тиску
Maximum air temperature	максимальна температура повітря
Mean monthly air temperature	середньомісячна температура повітря
Mean radiant temperature	середня радіаційна температура
Measurement	вимірювання
Microclimate	мікроклімат
Microclimate features	особливості мікроклімату
Minimum air temperature	мінімальна температура повітря
Normal climatic period	кліматична норма
Obstacles	перешкоди
Ozone	озон
Ozone depletion	виснаження озонового шару
Ozone formation	утворення озону
Pedestrian comfort	комфорт мешканців
Phenomenon	явище
Photochemical effect	фотохімічний ефект
Photochemical smog	фотохімічний смог
Physiologically equivalent temperature (PET)	фізіологічно-еквівалентна температура
Precipitation	опади
Radiation balance	радіаційний баланс
Radiation fluxes	радіаційні потоки (потоки випромінювання)
Radiation fog	радіаційний туман
Reflected short wave radiation	відбита короткохвильова радіація
Regional climate models	регіональні кліматичні моделі
Relative humidity	відносна вологість
Scales of climatic study	масштаби кліматичних досліджень
Short-wave radiation	короткохвильова радіація
Sky View Factor (SVF)	фактор відкритого неба
Sleet	мокрый сніг
Snow	сніг
Snow cover	сніговий покрив
Solar radiation	сонячна радіація
Surface energy balance (SEB)	енергетичний баланс підстильної

	поверхні
Sub-layer	прошарок
Sun angles	кут падіння сонячних променів
Sunshine	сонячне сяйво
Sunshine duration	тривалість сонячного сяйва
Symmetrical canyon	симетричний каньйон
Terrestrial radiation	випромінювання Землі
Thermal indices	біокліматичні індекси
Thermoregulatory mechanism	терморегуляційний механізм
Universal Thermal Climate Index (UTCI)	універсальний біокліматичний індекс
Upwind edge of the city	навітряна сторона міста
Urban climate	міський клімат
Urban heat island	міський острів тепла
Urban meteorology	урбометеорологія
Urban bioclimate	біоклімат міста
Urban boundary layer (UBL)	міський граничний шар атмосфери
Urban canyon	міський каньйон
Urban canopy-layer (UCL)	міський піддаховий шар
Vulnerability to climate change	вразливість до зміни клімату
Adaptation to climate change	адаптація до зміни клімату
Water vapour pressure	парціальний тиск водяної пари
Weather	погода
Wind	вітер
Wind profile	профіль вітру
Wind speed	швидкість вітру
Wind direction	напрямок вітру
World Meteorological Organization	Всесвітня метеорологічна організація
Zenith angle	зенітний кут