Модуль Жана Моне
Європейські практики із зеленої трансформації:
уроки для України
Проєкт 101085133 - EUGREEN

Співфінансується Європейським Союзом

АДАПТАЦІЯ ЄС ДО ЗМІН КЛІМАТУ ТА СТІЙКІ УРБОЕКОСИСТЕМИ

Тетяна ЯКОВИШИНА

УДК 504:37.03
ББК 28.081
Я 47

Модуль Жана Моне
Європейські практики із зеленої трансформації:
уроки для України
Проєкт 101085133 – EUGREEN

Проєкт співфінансується Європейським Союзом, проте висловлені погляди та думки належать лише авторам цього проєкту і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні грантодавець не можуть нести за них відповідальність.

Навчальний посібник рекомендовано до видання рішенням Вченої ради Придніпровської державної академії будівництва та архітектури (протокол №7 від 24.01.23)

Рецензенти:
Шматков Г.Г. – доктор біологічних наук, професор, професор кафедри екологічного аудиту і експертизи Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління;
Нестер А.А. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету.

Яковшина Т.Ф. Адаптація ЄС до змін клімату та стійкі урбоекосистеми: Навчальний посібник. – Дніпро: ПДАБА. 2023. – 109 с.

Навчальний посібник призначений для формування у студентів вміння досліджувати сталий розвиток урбоекосистем в комплексі екологічної, економічної та технічної складових. Політика Європейської Зеленої угоди (Green Deal) щодо сталого розвитку потребує підготовки кадрів, здатних шляхом вирішення конкретних прикладних задач в межах техногенно навантажених урбоекосистем сприяти екологізації економіки, перетворити Європу на кліматично нейтральний континент, підвищити добробут громадян, захистити біологічне різноманіття. Курс призначений для формування у студентів знання про зміни клімату, адаптацію до їх негативних наслідків з наукової, соціальної та політичної точки зору, зважаючи на особливості техногенно навантажених регіонів та їх бази природних ресурсів, для забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій, з урахуванням спрямованості їх виробництв. В процесі вивчення курсу на підґрунті зелених практик ЄС будуть набуті теоретичні та практичні навички щодо розв'язання задач пов'язаних із впливом зміни клімату на функціонування природної та техногенної складової урбоекосистем техногенно навантажених регіонів; розроблення багатоцільових природоохоронних заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення екологічної безпеки міських територій; формування механізмів адаптації та стимулювання процесів самовідновлення урбоекосистем з урахуванням глобальних цілей сталого розвитку, а саме, Європейської зеленої угоди щодо кліматичних заходів та ЦСР ООН 13: кліматичні заходи.

© Яковишина Т.Ф., 2023

Зміст

Вступ……. 6
Лекційний курс…… 8
Розділ 1: Формування клімату техногенно навантаженої урбоекосистеми…… 8
1.1. Особливості кліматичних умов урбоекосистем…….. 8
1.2. Відмінності клімату природних та урбанізованих екосистем……... 9
1.3. Причини формування особливого клімату у містах…… 10
1.4. Формування міського «острову тепла»…… 11
1.5. Показники характеристики «острову тепла» над містом…… 14
1.6. Формування «міського бризу»…….. 15
Розділ 2: Техногенно навантажена урбоекосистема, як джерело викидів парникових газів…… 17
2.1. Вплив промислового виробництва на викиди парникових газів в Україні…… 17
2.2. Внесок антропогенної діяльності та техногенно навантажених урбоекосистем у зміну клімату…… 19
2.3. Фактори, що впливають на викиди парникових газів в урбоекосистемі…….. 21
2.4. Досвід ЄС щодо обліку парникових газів в техногенно навантажених урбоекосистемах…….. 23
2.5. Базовий кадастр викидів і основні джерела емісії CO_2 в місті……. 24
Розділ 3: Вразливість техногенно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату…….. 25
3.1. Негативні наслідки зміни клімату, які впливають вразливість урбоекосистеми……. 25
3.2. Вразливість матеріальної інфраструктури урбоекосистеми……. 28
3.3. Вразливість економіки урбоекосистеми…….. 29
3.4. Вразливість соціальної сфери урбоекосистеми…….. 30
3.5. Оцінка вразливості урбоекосистеми до зміни клімату…….. 30
3.6. Заходи зниження вразливості техногенно навантажених урбоекосистем……... 32
Розділ 4: Пом’якшення наслідків зміни клімату на території техногенно навантаженої урбоекосистеми……... 34
4.1. Шляхи пом’якшення зміни клімату……. 34
4.2. Планування території міст та міський розвиток, спрямований на пом’якшення зміни клімату……. 35
4.3. Пом’якшення зміни клімату в будівельному секторі……. 36
4.4. Пом’якшення зміни клімату в міській інфраструктурі……... 37
4.5. Пом’якшення зміни клімату в транспортній системі…….. 38
4.6. Секвестрація вуглецю в межах урбоеоксистем…… 39
4.7. Оцінка ефективності впровадження міських ініціатив з

пом'якшення клімату…… 40
Розділ 5: Загальний методологічний підхід щодо адаптації до зміни клімату…….. 42
5.1. Адаптація, її типи та форми…….. 42
5.2. Стратегія з адаптації та її цикл…… 44
5.3. Основні принципи вибору стратегії адаптації…… 46
5.4. Заходи з адаптації та їх класифікація…….. 47
5.5. Принципи розробки заходів адаптації урбоекосистеми до зміни клімату…… 48
Розділ 6: Адаптація до зміни клімату при розбудові техногенно навантаженої урбоекосистеми……... 50
6.1. Стратегічне планування заходів адаптації до зміни клімату на рівні міст……. 50
6.2. Заходи з адаптації у сфері охорони здоров'я…….. 52
6.3. Заходи адаптації в будівництві……. 55
6.4. Адаптація міст за допомогою озеленення……... 55
Розділ 7: Адаптація до зміни клімату при функціонуванні техногенно навантаженої урбоекосистеми (системи життєзабезпечення)…… 58
7.1. Заходи адаптації транспорту……. 58
7.2. Заходи з адаптації в енергетичній сфері…….. 59
7.3. Заходи з адаптації у сфері використання водних ресурсів… 60
Розділ 8: Кліматична політика……... 63
8.1. Міжнародні та внутрішні документи кліматичної політики України……... 63
8.2. Політика кліматичної стійкості в Україні…… 67
8.3. Сценарії досягнення кліматичної стійкості в Україні……. 68
Практикум…… 72
Практичне заняття № 1. Тема: Визначення посушливості клімату урбоекосистем за стандартизованим індексом опадів……. 72
Практичне заняття № 2. Тема: Визначення посушливості клімату урбоекосистем за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова……. 76
Практичне заняття № 3. Тема: Побудова клімадіаграми техногенно навантажених урбоекосистем…… 77
Практичне заняття № 4. Тема: Оцінка вразливості техногенно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату…….. 80
Практичне заняття № 5. Тема: Оцінка впливу змін клімату на якість атмосферного повітря техногенно навантажених урбоекосистем…….. 85
Практичне заняття № 6. Тема: Оцінка викидів парникових газів як основних чинників зміни клімату техногенно навантажених урбоекосистем…….. 88
Практичне заняття № 7. Тема: Оцінка впливу зміни клімату на екологічні умови проживання людини техногненно навантажених територій…….. 90
Практичне заняття № 8. Тема: Визначення кліматичних ризиків для техногенно навантажених урбоекосистем……. 94

Список використаних джерел…… 98
Додатки……. 103
Додаток А……. 104
Додаток Б…….. 108

Вступ

Сучасне місто надає своїм жителям багато переваг економічного та соціального характеру, проте воно є штучним і відірваним від природного середовища. Утворення та функціонування урбоекосистеми пов'язано з формуванням якісно нового фізико-географічного стану геосередовища, який виникає внаслідок тривалого розвитку міста та сприяє зміні всіх його складових, будь-то атмосфера, клімат, рослинний покрив, тваринний світ, ґрунти, поверхнева гідросфера, геодинамічний стан території. Чим більші розміри міста, час його існування та ступінь розвитку промислового виробництва – тим суттєвіші зміни відбуваються в природному середовищі, що позначаються через відмінності екологічних факторів урбанізованого середовища та прилеглих територій, які знаходяться в нативному стані. З одного боку неможливо собі уявити міста без промисловості, а роботу промислових підприємств без шкідливих викидів в атмосферу, саме міста відповідальні за надходження значних обсягів парникових газів до атмосфери Землі і є відповідальними за зміни клімату, а з іншого – загально відомо, що урбанізовані території є більш вразливими до проявів кліматичних змін, порівняно з іншими типами людських поселень. Антропогенна діяльність людини, спрямована на підвищення викидів парникових газів, призводить до змін клімату, які особливо чітко відбиваються на урбанізованих територіях, де на зазначену глобальну проблему накладаються місцеві особливості, зумовлені промисловим розвитком міст. Особливо відчутними наслідки кліматичної зміни стануть для населення міст-мільйонників, з такими містоутворюючими видами промисловості, як чорна і кольорова металургія, теплоенергетика, хімпром. Поєднання негативних наслідків урбанізації та кліматичної зміни, що спостерігається у техногенно навантажених урбоекосистемах, створюють пряму загрозу стійкому розвитку, впливаючи на екологічну, економічну та соціальну стабільність, як у світі в цілому, так і в окремих країнах. Посилення проявів зміни клімату та аналіз їх негативних наслідків у конкретних містах свідчать, що зміна клімату ініціює виникнення широкого спектру проблем, які, нажаль ще недостатньо вивчені, адже, щоразу, коли справа стосується тепла і клімату, увага фокусується на потепленні клімату Землі в цілому і на обговоренні питання про можливе підвищення температури на пару градусів Цельсія, проте в техногенно навантажених урбоекосистемах температура у внутрішньоміських районах іноді може перевищувати температуру за його межами до десяти градусів, утворюючи так званий «острів тепла». Досить широка варіабельність та масштабність проявів зміни клімату сприяє виникненню на урбанізованих територіях унікальних для кожної природно-кліматичної зони проблем, що можуть спричинити як прямі ризики, приміром, аномальна спека чи підтоплення, так і непрямі – порушення нормального функціонування окремих систем міста та складнощі у наданні базових послуг населенню у водопостачанні, енергозабезпеченні, міському транспорті, охороні здоров'я тощо [11, 24].

Адаптація до зміни клімату передбачає пристосування всіх систем міста (природних, соціальних чи економічних, виробничих) у відповідь на фактичні

чи очікувані кліматичні зміни з урахуванням їх наслідків, що здійснюється шляхом коригування процесів, дій чи структур щодо зниження потенційних ризиків або використання сприятливих можливостей, пов'язаних із зміною клімату. На рівні техногенно навантаженої урбоекосистеми необхідно розробляти та впроваджувати на практиці заходи щодо адаптації для своєчасного реагування на існуючу зміну клімату та заздалегідь здійснювати підготовку до її очікуваних наслідків. Вибір того чи іншого заходу зумовлюється конкретної ситуацією, приміром при збільшенні повенів будують захисні споруди, облаштовують дренаж та зливову каналізацію, створюють систему раннього оповіщення населення, а за умов хвиль тепла потрібно запроваджувати зовсім інші заходи. Побудова урбоекосистеми стійкої до кліматичних ризиків є актуальною задачею сьогодення, яка потребує пошуку ефективних не тільки екологічних, а й технічних і економічних рішень, отже перегляду підходу до всієї системи господарювання на рівні міста. Слід зазначити, що успішна адаптація залежить не лише від державної політики, а й від активного, безперервного залучення до цього процесу представників місцевого управління, бізнесу, екологічних організацій, громадянського суспільства. Фактично кожен мешканець міста повинен оцінювати свої дії з точки зору ступеня їх впливовості на клімат, тому виникає потреба в формуванні бази знань для підвищення екологічної самосвідомості. Не менш важливу роль відіграє вміння успішно використовувати отримані знання на практиці, чому буде сприяти виконання практичних робіт, участь у семінарах, опрацювання питань для самоконтролю.

Лекційний курс

Розділ 1: Формування клімату техногенно навантаженої урбоекосистеми

1.1. Особливості кліматичних умов урбоекосистем
1.2. Відмінності клімату природних та урбанізованих екосистем
1.3. Причини формування особливого клімату у містах
1.4. Формування міського «острову тепла»
1.5. Показники характеристики «острову тепла» над містом
1.6. Формування «міського бризу»

Ключові слова: *клімат урбоекосистеми, «острів тепла», «міський бриз», тепловий стрес, парниковий ефект, конвекція, інверсія.*

Місто досить сильно відрізняється мікро- та мезокліматичними особливостями від екосистем притаманних природно-кліматичній зоні, в якій воно виникло. Міська забудова веде до редукування площі рослинного покриву, а також до заповнення даних місць штучними, часто водонепроникними та накопичуючими тепло матеріалами. Змінюється комплекс кліматичних умов міста: підвищується температура повітря, збільшується кількість опадів та злив, порушуються особливості їх розподілу за сезонами року, збільшується хмарність, зменшується кількість сонячної радіації (особливо УФ). Освітлення та повторюваність туманів в центральних районах міста у 1,5-2 рази перевищує периферійні зони, особливо у зимовий час. Забруднення атмосфери міста збільшує її каламутність, призводить до утворення туманів типу смогу знижує тривалість сонячного сяйва в порівнянні з передмістям на 500 годин.

1.1. Особливості кліматичних умов урбоекосистем

Клімат урбоекосистеми – це клімат на урбанізованій території, що відрізняється від клімату навколишніх територій та формується внаслідок зміни природного середовища міською забудовою, промисловістю, транспортом, міським населенням [30].

До особливостей, за якими відрізняється міський клімат, відносяться [6]:

- підвищені середні температури в промислових районах міста за рахунок яких утворюється так званий міський «острів тепла»;
- зменшення випаровування через запечатаність асфальто-бетонним покриттям;
- порушення в атмосферній циркуляції, у тому числі утворення так званого «міського бризу»;
- значне забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та зменшення притоку прямої радіації;
- посилення конвекції та збільшення хмарності, а також повторюваності та кількості опадів у теплий період року;

- збільшення повторюваності та інтенсивності туманів у холодний період року.

На території урбоекосистеми в межах міського клімату, як мезоклімату, формується, завдяки строкатості природних та антропогенних факторів, велика кількість типів мікроклімату, приміром залежно від топографії, характеру вуличної забудови, наявності площ, замкнутих дворів-колодязів, зелених насаджень, розміщення промислових підприємств, тощо.

У місті відмінності в нагріві освітлених і затінених частин вулиць і дворів визначають місцеву циркуляцію повітря, а саме, висхідні рухи формуються над поверхнею освітлених стін, а низхідні – над затіненими стінами. Наявність на території урбоекосистеми водоймищ сприяє розвитку денної місцевої циркуляції від водоймища до ділянок забудови, а вночі – навпаки. Для вітрового режиму мегаполісів характерно зниження швидкості вітру в центральних районах порівняно до передмістя. Проте можливе також посилення швидкості вітру за умов співпадіння напрямку вітру з напрямом вулиці, щільно обмеженої багатоповерховими будівлями. Вологість повітря в уброекосистемі зумовлюється високою запечатаністю території, отже значно нижча ніж на околицях, що пов’язане з підвищенням температури і загальним пониженням вологи в атмосфері над містом унаслідок зменшення випару. Найбільші контрастні значення вологості в межах місто – околиці в річному ході фіксуються в літній період, а в добовому ході – у вечірні години. При з’ясуванні впливу міста на опади необхідно окремо розглядати теплий і холодний періоди року. Взимку відмінності в сумах опадів зазвичай незначні. У літній час найбільші суми опадів випадають над містом, проте не в центральній його частині, а на околицях. За умов високої вологості повітря, наявність конвективної нестійкості і забрудненості повітря сприяють утворенню хмарності над містом. Відмінності в режимі температурної вологості місто – периферійні зони відбиваються і на розподілі атмосферних явищ. Приміром, туманів в місті може бути менше, ніж за містом, що пов’язано з підвищенням температури і пониженням відносної вологості. Дослідження грозової діяльності в різних районах показали, що середня сумарна тривалість гроз за рік на території урбоекосистеми в 1,5-2,5 разів менше, ніж на його околицями [22].

1.2. Відмінності клімату природних та урбанізованих екосистем

Кліматичні умови в техногенно навантажених урбоекосистемах суттєво відрізняються від характерних для нативних умов. Зупинимось на деяких з них.

1. Температура атмосферного повітря в центральних районах підвищена порівняно до околиць, при цьому інтенсивність виділення тепла визначається розміром урбоекосистеми та чисельністю населення. Сформований «острів тепла» у великих містах простежується до висоти 250 м [13]. В помірних широтах наслідком утворення «острову тепла» є: зменшення повторюваності екстремально низьких температур взимку; подовження безморозного періоду; більш пізнє утворення снігового покриву і його танення.

2. Клімат техногенно навантаженої урбоекосистеми характеризується меншим потоком радіації до 15-20 %, меншою тривалістю сонячного сяйва приблизно на 5-15 % [30] внаслідок фотохімічного смогу та хмарності.

3. Відмінності температури в місті та його околицях можуть призвести до виникнення так званого міського бризу (дивись підрозділ 1.6.). На вулицях виникає циркуляція повітря, зумовлена неоднаковим нагріванням тіньової та сонячної сторін. Швидкість вітру в умовах забудови, як правило, менше на 10-20% [30], ніж на відкритому просторі за містом. Крім того в самій урбоекосистемі спостерігаються зміни швидкості та напрямку вітру, особливо в одно-двометровому шарі атмосферного повітря, що зумовлюється плануванням міста.

4. Над містом спостерігається підвищена хмарність на 5-10 % [30] і, отже, зменшується число ясних днів та, навпаки, збільшується число днів із туманами на 20-30 % влітку і на 100 % взимку порівняно з передмістям за рахунок підвищення температури [13, 30]. При цьому сума опадів над містом збільшена на 5-10 % [30]; частіше бувають грози – кількість днів з грозою і градом збільшується на 15 і 10 відповідно [13]. Підвищена конвекція призводить до збільшення частоти та кількості зливових опадів. Зменшуються опади у вигляді снігу.

5. Поле вологості на урбанізованій території дуже неоднорідне, з тенденцією зменшення на 8-10 % влітку та на 2 % взимку порівняно до сільської місцевості, внаслідок підвищення температури та зменшення випаровування [12, 30].

6. У міському середовищі вегетація рослин, втім як і безморозний період триває в середньому на 15 днів довше, ніж у сільській місцевості) [12].

7. Урбоекосистема характеризується сильно пересіченою місцевістю, на окремих ділянках якої створюється свій особливий мікроклімат, що відрізняється від загального фонового клімату міста та пов’язаний з плануванням міської забудови, озелененням, розміщенням промислових підприємств, тощо.

1.3. Причини формування особливого клімату у містах

Серед причин, які призводять до відмінності клімату міста від клімату навколишньої місцевості слід виділити наступні:

- забруднення повітря великих міст аерозолями та газоподібними домішками, в середньому в 15-20 разів вище, ніж у сільській місцевості внаслідок концентрації великої кількості промислових підприємств;
- особливості міської забудови, яка насамперед сприяє підвищенню шорсткости території;
- виділення тепла при викиді забруднюючих речовин промисловими підприємствами, що зумовлено бажанням підвищити факел викидів за рахунок температури для покращення їх розсіювання, а це, в свою чергу, має призвести до зменшення концентрації полютанів в приземному шарі атмосферного повітря та збільшення зони активного забруднення.

Слід наголосити на комплексному впливі зазначених причин щодо формування клімату міста з можливим переважанням будь-якої залежно від конкретних природно-антропогенних умов. Їх слід оцінювати комплексно, з достатнім рівнем деталізації. По-першій причині відбуваються наступні процеси: забруднення повітря аерозолями і газоподібними домішками урбанізованих територій призводить до зменшення сумарної сонячної радіації на 10-15%, а ультрафіолетової навіть до 40%; паралельно спостерігається зниження прямої та зростання розсіяної радіації від 5% до 20%, а для великих міст-мільйонників до 30-60% [12]; посилюється парниковий ефект за рахунок викидів CO_2, CH_4 та інших парникових газів; знижується прозорість атмосфери, можливе утворення димової завіси, що призводить до явища температурної інверсії і суттєво ускладнює вертикальну вентиляцію в місті, особливо в умовах висотної забудови. Друга причина зумовлюється: наявністю на території міста будівель різної висоти, що призводить до трансформації швидкості та напряму вітру; темним асфальто-дорожнім покриттям вулиць та стін будівель, які сприяють багаторазовому відбиванню (і поглинанню) радіації від поверхонь, а отже, зменшенню величин альбедо міста на 5-10%; значною теплоємністю матеріалів будівель (тому місто повільніше нагрівається і повільніше охолоджується); закритістю горизонту, зменшенням тривалості сонячного сяйва; посиленій конвекції та турбулентності повітря над містом і, як наслідок, нерівномірним нагріванням. Третя причина здебільшого пов’язана з промисловим виробництвом, хоча у зимовий період ситуація ускладнюється за рахунок додаткового виділення тепла при обігріві будинків за рахунок роботи ТЕЦ. За умов неможливості досягнення значень ГДК по забруднюючим речовинам на межі санітарно-захистна зона – житлова забудова промислові підприємства змушені підвищувати температуру викидів для більшого їх розсіювання. Ситуація є типовою для міст пострадянського простору, де промислові зони вклинювались у житлову забудову.

Кількість тепла, що виділяється в місті з антропогенних причин, можна порівняти з величиною радіаційного балансу.

1.4. Формування міського «острову тепла»

Особливість клімату техногенно навантаженої урбоекосистеми є формування так званого «острову тепла», що позиціонується як метеорологічний феномен і полягає у різниці температур міста та його околиць.

Тепловий ефект, який виникає в техногенно навантажених урбоекосистемах пов’язаний з балансом поверхневої енергії, який, в свою чергу, ґрунтується на принципі збереження енергії. Чиста енергія, яку отримує від сонця поверхня землі урбанізованої території (чисте сонячне випромінювання) дорівнює кількості енергії в теплових процесах, що протікають у місті, таких як нагрівання повітря шляхом конвекції (явна теплота), випаровування води та транспірація дерев і рослин (прихована теплота), а також поглинання тепла землею, будинками та поверхневою водою

(приземний тепловий потік). Баланс поверхневої енергії описується наступною формулою:

$$Q^* = QE + QH + QS \quad (1.1)$$

де Q* – чисте сонячне випромінювання, отримане поверхнею землі;
QE – енергія, споживана при випаровуванні (води та рослин);
QH – явна теплота (перехід тепла від поверхні землі в повітря);
QS – енергія, поглинена водою, будівлями та поверхневою водою.

Зміни температурних показників у містах відбиваються у часовому масштабі у вигляді хвиль тепла та у просторовому – як «острови тепла».

«Острів тепла» – територія у внутрішній частині техногенно навантаженої урбоекосистеми, яка характеризується підвищеними в порівнянні з периферією міста температурами повітря (рис. 1.1). Фактори, що впливають на формування «острову тепла» наведено на рис 1.2.

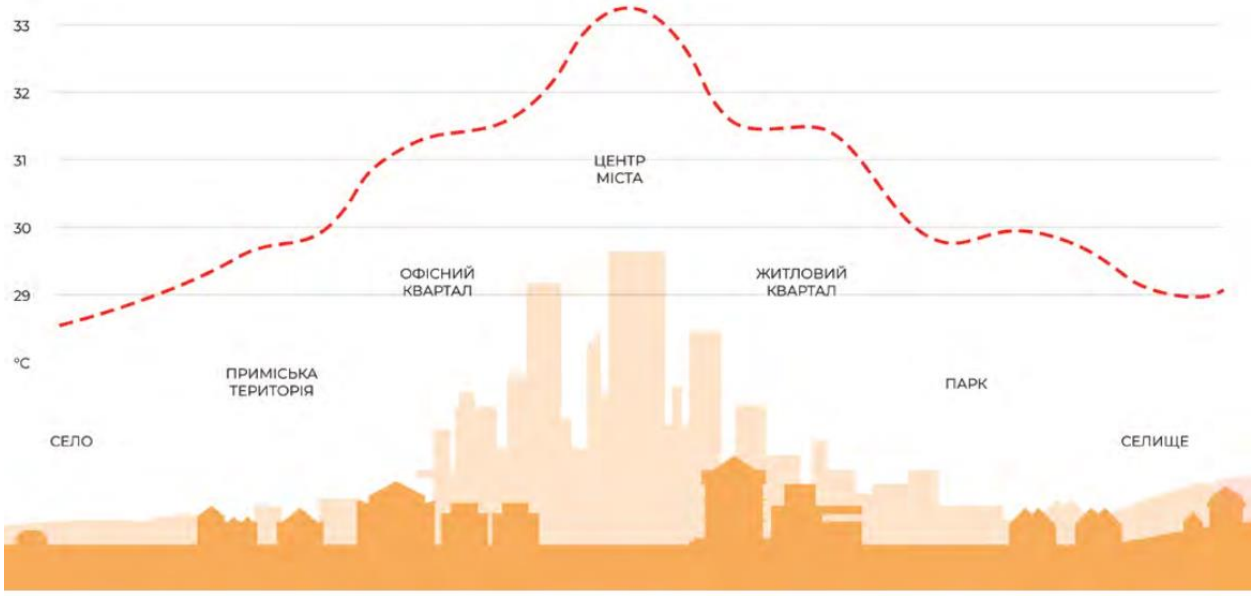

Рис. 1.1. «Острів тепла» в урбоекосистемі [11]

Згідно з визначенням Всесвітньої метеорологічної організації, «**хвиля тепла»** – це період, протягом якого максимальна добова температура повітря понад 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру повітря цього дня за середній багаторічний період на 5 ^{0}C.

Добовий хід температури в міському «острові тепла» суттєво відрізняється за порами року, а саме, влітку та взимку. Взимку максимальне значення температури атмосферного повітря припадає на 21 год, а потім його інтенсивність поступово зменшується до 13 год наступного дня; а влітку вдень до 17 год значення температури повітря в місті та на заміській території майже не відрізняються, в вечері внаслідок швидшого охолодження повітря в сільській місцевості різниця температур поступово зростає, і досягає свого максимуму о 2-3 год ночі [49]. Дослідження динаміки температур в техногенно навантажених урбоекосистемах виявило 2 хвилі охолодження: перша –

кількагодинна вечірня із різними градієнтами, які зумовлюються експозицією будівель та теплопровідністю будівельних матеріалів; друга – рівномірна, спостерігається в умовах передранкової інверсії та визначається радіаційними властивостями надбудинкового шару повітря [42].

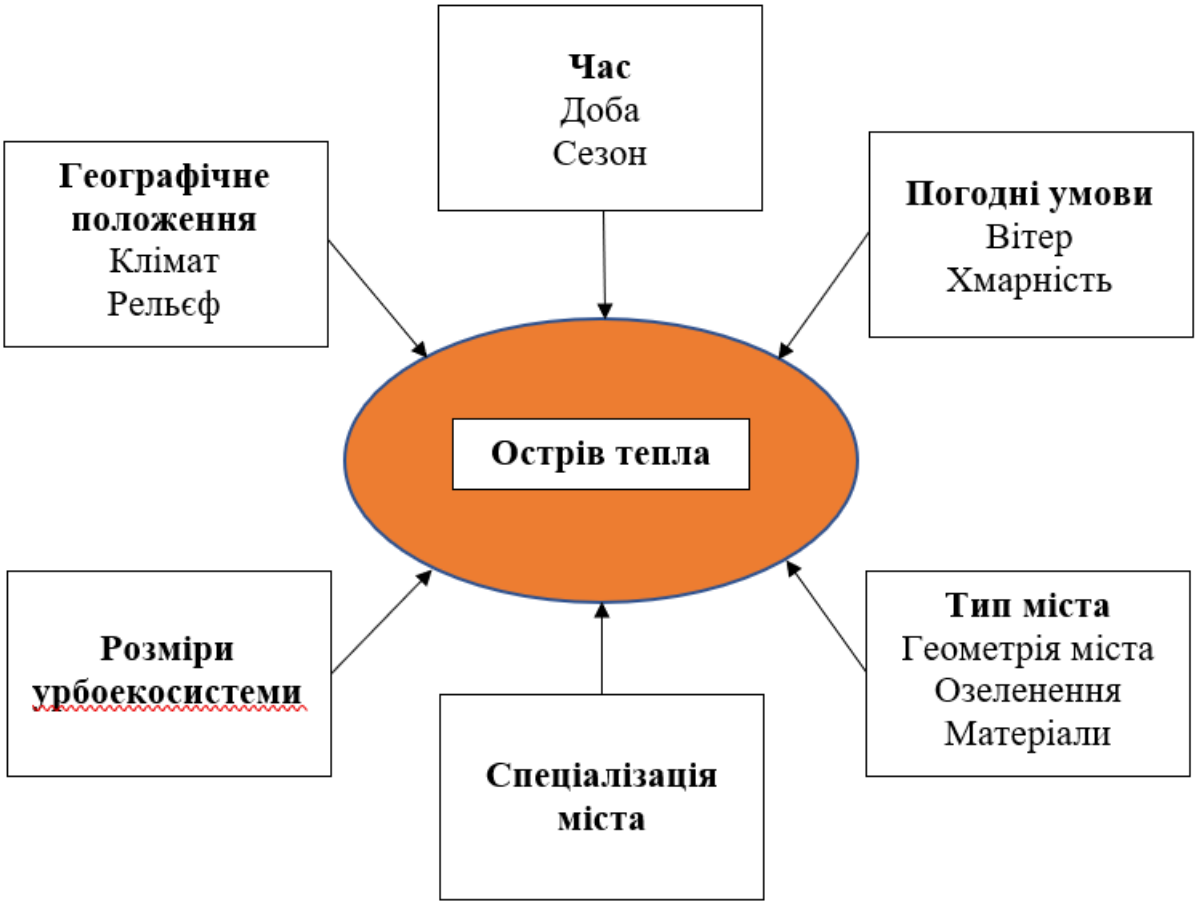

Рис. 1.2. Фактори, шо впливають на утворення «острову тепла»

Вагомий внесок у формування «острова тепла» в техногенно навантаженій урбоекосистемі спричиняють штучні підстильні поверхні з нижчим альбедо, ніж природні, адже вони поглинають більше сонячної радіації, активніше нагріваються та повільніше охолоджуються. Приміром, асфальто-дорожнє покриття нагрівається швидше, ніж рослинний покрив, темні покриття (дороги та дахи) краще поглинають сонячне випромінювання, а високі будинки перешкоджають вітровим потокам або суттєво знижують їх швидкість.

В техногенно навантаженій урбоекосистемі нейтралізація «острову тепла» відбувається за рахунок міських водойм, адже внаслідок своїх природних властивостей вода прогрівається повільніше, і як результат, вдень вона виступає найхолоднішою поверхнею в місті. При наявності достатньої кількості великих водойм в межах урбанізованої території здійснюється потужний вплив на «острів тепла», внаслідок чого він розділяється на декілька дрібніших частин.

Ще однією з причин підсилення теплового ефекту в урбоекосистемі виступає відсутність випаровування внаслідок недостатнього озеленення міських територій. Слід зазначити, що площа зелених насаджень в містах України менша в 2-3 рази за аналогічний показник в містах ЄС. Через недостатнє озеленення урбоекосистеми втрачають тіньову та охолоджувальну дію, зменшується поглинання вуглекислого газу і, як наслідок, зростає вразливість міського населення до теплового стресу [11].

Основною характеристикою «острову тепла» в урбоекосистемі є його інтенсивність (ΔT_L), яка визначається за формулою (1.2) [15]:

$$\Delta T_L = TU_{max} - T_L \quad (1.2)$$

де: TU_{max} – максимальне значення температури повітря в місті, ^{0}C;

T_L – середня температура повітря за містом, ^{0}C.

Чим вище інтенсивність «острову тепла», тим більша загроза теплового стресу для населення та біоти, особливо за умов спекотних періодів. Влітку, в періоди екстремальної спеки, він призводить до посилення теплового стресу і, в деяких випадках, навіть пов'язаної з ним смертності, а також збільшення енерговитрат на кондиціювання повітря. Для зимового періоду можна, навпаки, припустити, що ефект «острова тепла» може пом'якшувати морози і зменшувати кількість палива, необхідного для опалення.

1.5. Показники характеристики «острову тепла» над містом

Для характеристики «острову тепла» доцільно використовувати наступні показники:

- загальна просторова форма «острову тепла», в якій ізотерми окреслюють певну урбанізовану територію з температурами вищими, ніж у передмісті або сільській місцевості;
- інтенсивність «острову тепла» в градусах, що визначається як різниця температур між містом та прилеглими територіями;
- характеристика поверхонь міста, які значною мірою визначають нагрівання повітря в містах.

«Острів тепла» є відображенням суми мікрокліматичних змін, які зумовлені антропогенною діяльністю в техногенно навантажених урбоекосистемах.

«Острів тепла» визначається певною динамікою, а саме, він схильний як до періодичних, так і до неперіодичних флуктуацій, а також до просторових коливань. Із періодичних флуктуацій слід приділити особливу увагу добовому ходу, а саме: вдень, навіть в сонячну безвітряну погоду, різниця температур між урбанізованим середовищем і сільською місцевістю, як правило, незначна, проте, вночі в місті в абсолютній більшості випадків тепліше, ніж на околицях. Вертикальна протяжність аномалій температури на території техногенно навантажених урбоекосистем може проявлятися в межах нижнього 100-500 метрового шару атмосфери, а в деяких випадках сягати 500-1500 м.

В залежності від того, на якій висоті спостерігається «острів тепла», виділяють наступні види:

- «острів тепла» приповерхневого шару;
- «острів тепла» граничного шару атмосфери над містом;
- «острів тепла» в піддаховому шарі атмосфери.

1.6. Формування «міського бризу»

Формуванню «острову тепла» сприяють вітрові потоки, які утворюються в уброекосистемі внаслідок змін кліматичних характеристик.

«Міський бриз» являє собою перенесення повітря від периферії до центру великої урбоекосистеми, зумовлене підвищеною температурою та висхідним рухом повітря над містом.

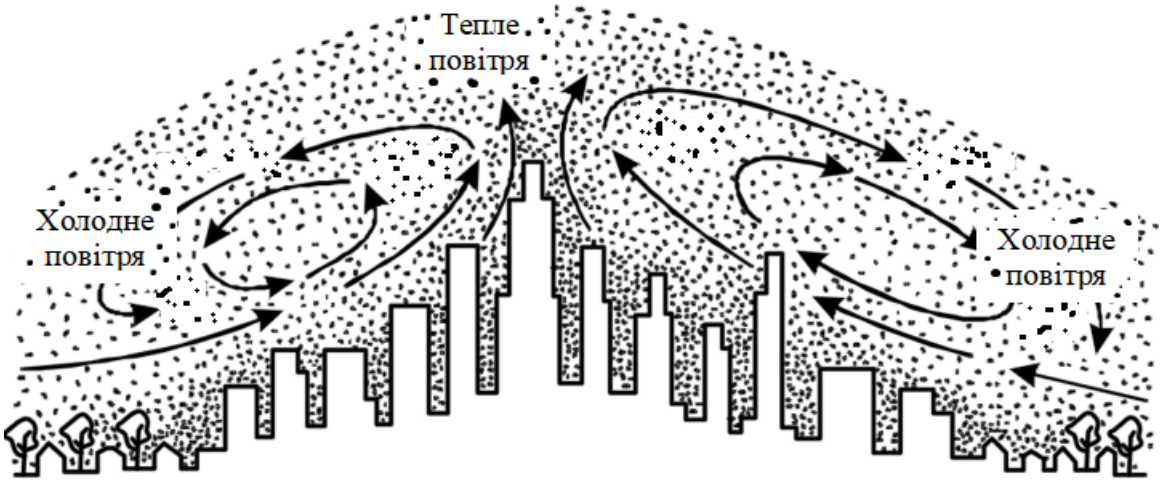

Рис. 1.3. Утворення «міського бризу»

Міська забудова, маючи коефіцієнт шорсткості вищий, ніж більшість природних ландшафтів, а також за рахунок «бар'єрного ефекту» відіграє роль пасивної перешкоди на шляху повітряного потоку, суттєво знижуючи його швидкість біля земної поверхні порівняно із природними ландшафтами. Завдяки підвищеній тепловіддачі в атмосферу урбоекосистема створює мезомасштабну термічну конвекцію, яка може посилювати швидкість вітру на фоні штильових умов. «Острів тепла», як причина підвищеної тепловіддачі в місті, сприяє утворенню додаткових горизонтальних градієнтів тиску та пов'язаним з ними локальним циркуляціям, виникнення яких можливо за слабких вітрів або штилю. Біля поверхні землі повітряні потоки спрямовані від окраїн до центру, де спостерігається найвища інтенсивність «острову тепла», а у верхньому шарі, навпаки, фіксується відтік повітря до околиць міста (рис. 1.3). Наявність конвергенції приповерхневого повітряного потоку над техногенно навантаженою урбоекосистемою є логічною, адже внаслідок існування «острову тепла» формується нестійка стратифікація температури, що викликає підйом повітряних мас. Нічна конвергенція повітряного потоку над містом є причиною того, що вночі вітер у місті послаблюється не настільки сильно, як удень, і часом може бути навіть сильнішим, ніж у сільській

місцевості. Найчастіше це спостерігається за умов тихої спокійної погоди, коли в сільській місцевості фіксується потужна температурна інверсія, а в місті приповерхневий шар повітря стратифікований нестійко [29]. Слід звернути увагу на те, що спрямований вночі всередину міста рух повітря не є постійним.

Міський вітер може впливати на перенесення забруднення з міжміських промислових зон до центру міста. Краще розуміння цих циркуляцій вітру має першочергове значення для прогнозування піків забруднення та оцінки політики щодо якості повітря в містах.

Питання для самоконтролю по розділу 1

1. Надайте характеристику кліматичних умов для конкретної урбоекосистеми із зазначенням векторів впливу та рівня техногенно го навантаження.
2. Розкрийте особливості формування міського «острову тепла». Які показники його характеризують?
3. Яку роль у формуванні «острову тепла» виконує «міський бриз»?
4. В чому полягають відмінності клімату природних та урбанізованих систем?
5. Розкрийте сутність поняття «тепловий ефект».

Розділ 2: Техногенно навантажена урбоекосистема, як джерело викидів парникових газів

2.1. Вплив промислового виробництва на викиди парникових газів в Україні

2.2. Внесок антропогенної діяльності та техногенно навантажених урбоекосистем у зміну клімату

2.3. Фактори, що впливають на викиди парникових газів в урбоекосистемі

2.4. Досвід ЄС щодо обліку парникових газів в техногенно навантажених урбоекосистемах

2.5. Базовий кадастр викидів і основні джерела емісії CO_2 в місті

Ключові слова: *урбанізація, базовий кадастр викидів, географічна ситуація, демографічна ситуація, форма та щільність міських територій, міська економіка, політика вимірювання викидів.*

Урбоекосистеми територіально займають всього 3% суші Землі, проте вони продуцюють близько 72% викидів парникових газів від загальної щорічної кількості. Слід зважати на те, що темпи урбанізації значно зростають, так згідно прогнозів у Європі в 2050 році майже 85% населення житиме у містах. Наведено декілька фактів впливу урбанізації на викиди парникових газів:

1) 25 найбільших за чисельністю населення міст продуцюють 52% емісії парникових газів.

2) Міста Європи, Австралії і США виділяють значно більше парникових газів в перерахунку на душу населення, ніж міста країн, що розвиваються.

3) В техногенно навантажених урбоекосистемах головними джерелами викидів постають стаціонарна енергетика (електростанції на викопному паливі та обладнання для вироблення промислового тепла), автомобільний транспорт, а вже потім слідують залізні дороги, морський транспорт і авіація.

4) 30 міст суттєво знизили річний показник викидів – Осло, Х'юстон, Сіетл і Богота, в той час як в Ріо-де-Жанейро, Куритибі, Йоганнесбурзі, Венеції, навпаки, зафіксовано зростання.

5) 113 з 167 міст поставили перед собою задачу щодо скорочення викидів парникових газів, тоді як 40 пообіцяли взагалі стати вуглецево-нейтральними.

2.1. Вплив промислового виробництва на викиди парникових газів в Україні

В період з 1990-2020 р.р. тренд загальних викидів парникових газів в Україні характеризується наступними ключовими етапами (рис. 2.1-2.2):

- різке скорочення викидів парникових газів у період з 1990 року до початку 2000-х років, що зумовлювалось скороченням виробництва у промисловості та сільському господарстві внаслідок розпаду СРСР та,

як наслідок, скороченням споживання палива в енергетиці. На цей період також припадає реструктуризація економіки і значне зростання сфери послуг;

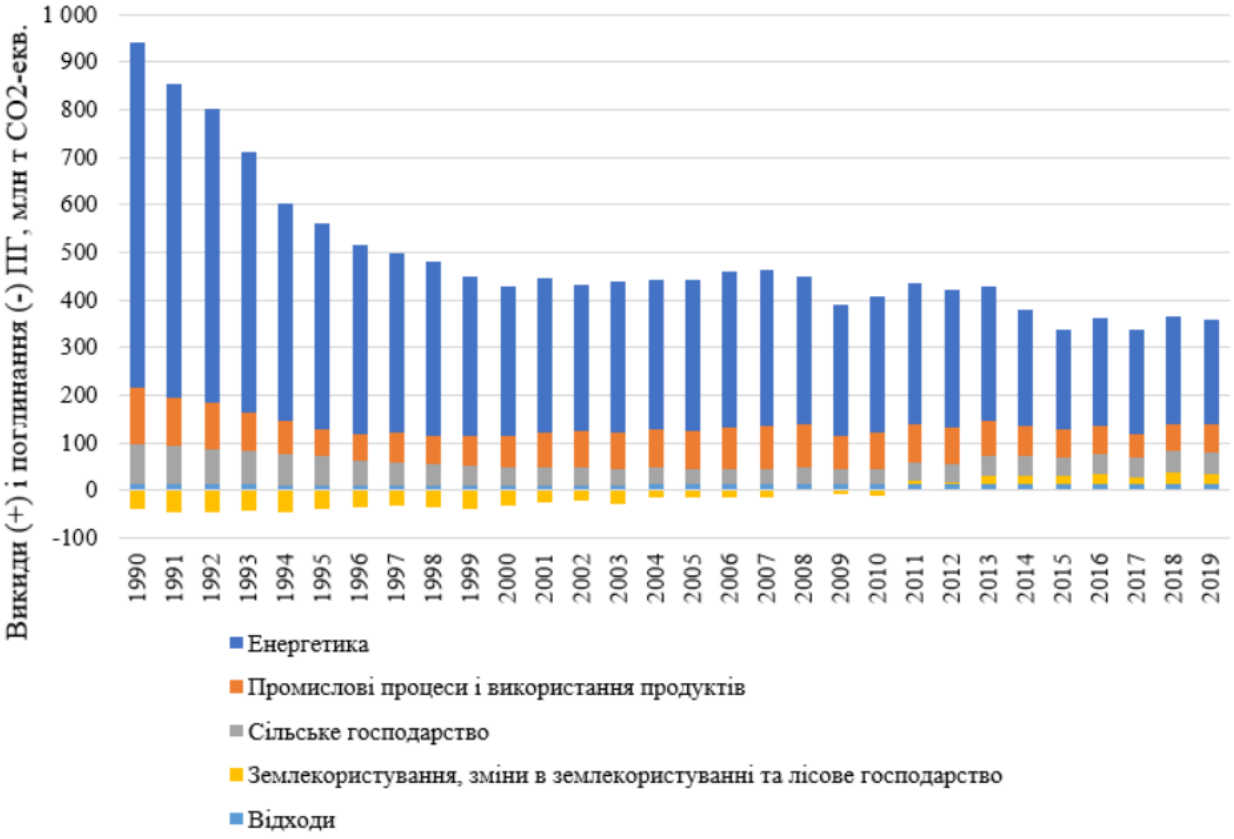

Рис. 2.1. Тенденції викидів та поглинань парникових газів протягом 1990-2020 років (за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України)

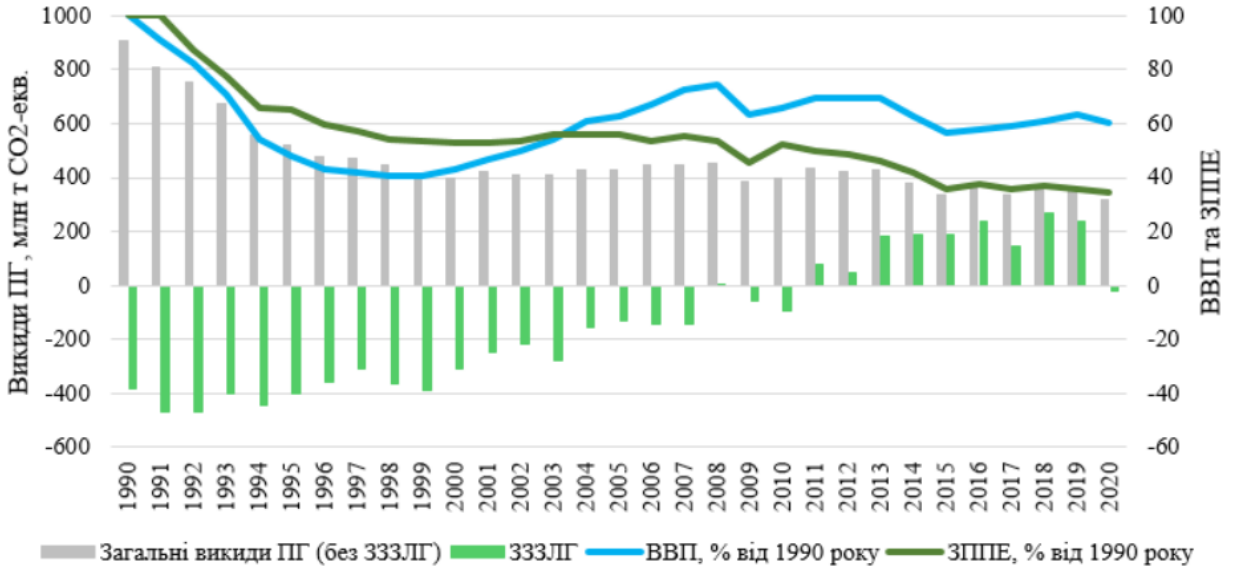

Рис. 2.2. Тенденції викидів парникових газів та основних економічних і енергетичних показників протягом 1990-2020 років
(за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України)

- стабілізація та зростання викидів парникових газів у період з початку 2000-х років до 2008 року, яке пов’язане зі зростанням виробництва мінеральної та металургійної продукції та загальним підйомом економіки, при активному споживанні твердого викопного палива в енергетиці, але паралельно було реалізовано низку заходів з модернізації та енергоефективності в промисловості для скорочення споживання природного газу внаслідок підвищення ціни на газ з 2006 року;
- скорочення викидів парникових газів на 15 % у 2009 році порівняно з 2008 роком через наслідки світової економічної кризи 2008 року, що особливо позначилось на скороченні виробництва цементу, аміаку та металу;
- зростання викидів парникових газів у 2010-2013 роках за рахунок загального відновлення економіки після наслідків світової кризи 2008 року при підвищеному споживанні твердого викопного палива в енергетиці;
- різке скорочення викидів парникових газів у 2014-2015 роках, пов’язане з падінням економіки через анексію АР Крим та міста Севастополь та також початком бойових дій в Донецькій та Луганській областях, де зосереджена значна частина промисловості та об’єктів видобування і споживання корисних копалин;
- коливання викидів парникових газів у 2016-2020 роках на рівні 315-370 млн. т CO_2-еквіваленту, що пов’язано з початком активної реалізації політики енергоефективності, а саме, програма «Теплі кредити» для стимулювання заходів з енергоефективності в будівлях, заміни газових котлів на котли на біомасі, тощо, та поступового приведення тарифів на електроенергію, гарячу воду та тепло до своїх ринкових значень, що призвело до економічної необхідності впровадження енергоефективних заходів.

2.2. Внесок антропогенної діяльності та техногенно навантажених урбоекосистем у зміну клімату

Існує декілька причин приділення уваги внеску техногенно навантажених урбоекосистем у зміну клімату [23, 56]. По перше, на урбанізованих територіях сконцентрована велика кількість промислових підприємств, здійснюються різні види господарської діяльності, які безпосередньо пов’язані з викидами парникових газів в атмосферу, приміром, перевезення, виробництво енергії та промислове виробництво асоціюються з містами та їх функціонуванням. Життєдіяльність населення в місті залежить від вхідних потоків продовольства, води та товарів широкого вжитку, виробництво яких також призводить до викидів парникових газів за межами міст на прилеглих територіях, це, в свою чергу, можуть бути, як сільські поселення, так і невеличкі міста-супутники. По-друге, визначення реальних об’ємів та встановлення лімітів викидів парникових газів у різних містах, дають основу для порівняння, створюють потенційну конкуренцію та є

підґрунтям для співпраці між містами для їх зменшення, приміром як Угода мерів. По-третє, оцінка впливу антропогенної діяльності в містах на зміну клімату – важливий перший крок у визначенні можливих рішень цієї проблеми при оптимальному розподілі відповідальності між промисловими підприємствами та енергетичними об'єктами міста, адже дуже важливо підкреслити різницю між аналізами викидів парникових газів на основі виробничих даних та на основі даних про споживання.

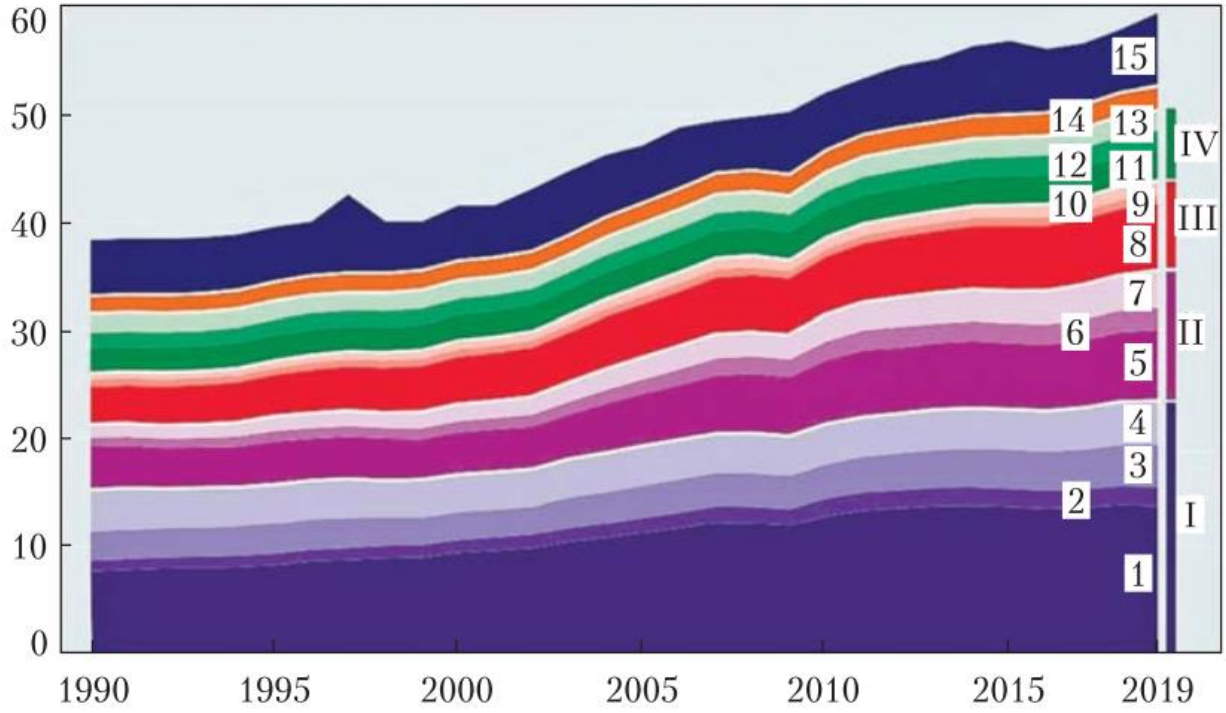

Рис. 2.3. Світові викиди парникових газів за галузями економіки в перерахунку на CO_2-еквівалент.

Примітка. Блок I. Енергетика: 1 – виробництво електроенергії і тепла; 2 – інші процеси перетворення енергії; 3 – неконтрольовані та необраховані викиди; 4 – в будівлях та інших секторах. Блок II. Промисловість: 5 – використання енергії; 6 – мінеральна продукція; 7 – інші промислові процеси. Блок III. Транспорт: 8 – автомобільний; 9 – неавтодорожній; 10 – міжнародний. Блок IV. Сільське господарство: 11 – сільськогосподарське землекористування; 12 – процеси кишкової ферментації у сільськогосподарських тварин; 13 – інше; 14 – відходи; 15 – зміни в землекористуванні [36]

Причиною глобального потепління, за даними МГЕЗК, є антропогенний вплив, а саме: підвищення в атмосфері Землі концентрації парникових газів, насамперед, CO_2, який утворюється внаслідок спалювання викопного палива. Концентрація вуглекислого газу в атмосфері збільшилася від 278 млн$^{-1}$ в 1750 р. (доіндустріальний період) до 407,8 млн$^{-1}$ у 2018 р., метану, відповідно, – від 722 до 1869 млрд$^{-1}$, а оксиду азоту – від 270 до 331 млрд$^{-1}$. У період з 1990 до 2018 р. концентрація довгоіснуючих парникових газів в атмосфері зросла на 43 %, причому на CO_2 припадає 81 % цього збільшення [46]. Загальні викиди всіх парникових газів у 2019 р. становили 59,1 Гт в CO_2-еквіваленті. На CO_2 припадало 65 % всіх світових викидів парникових газів, що зумовлювалось

виробництвом та використанням енергії, а викиди CH_4 та N_2O пов'язані переважно з сільським господарством та навколишнім природним середовищем. Світова енергетика генерує 41 % викидів парникових газів, промисловість – 20 %, транспорт – 14 %, а сільське господарство та відходи – 15 % (рис. 2.3) [37]. У 2019 р. викиди CO_2 при використанні викопного палива досягли рекордного рівня – 38,0 Гт·CO_2 (діапазон ±1,9 Гт·CO_2) [37]. Через пандемію COVID-19, внаслідок призупинки роботи багатьох підприємств, обсяг викидів CO_2 у 2020-2022 рр. скоротився приблизно на 7-10 % порівняно з 2019 р., але зниження викидів інших парникових газів було не таким значним. Згідно з останніми статистичними даними [41], попит на первинну енергію у 2020 р. знизився майже на 4 %, глобальні викиди CO_2, пов'язані з енергетикою, – на 5,8 % (від 33,4 Гт·у 2019 р. до 31,5 Гт·у 2020 р.), що є найбільшим річним зниженням з часів Другої світової війни. І хоча минулорічне скорочення викидів CO_2 в абсолютних величинах на 2 Гт еквівалентно річному рівню викидів усього Євросоюзу, концентрація парникових газів в атмосфері продовжує зростати незмінними темпами [3].

2.3. Фактори, що впливають на викиди парникових газів в урбоекосистемі

Рівень викидів парникових газів на територіях техногенно навантажених урбоекосистем різних країн може значно відрізнятись, що зумовлюється значною кількістю взаємопов'язаних факторів, включаючи різницю джерел викидів [4, 23].

Географічна ситуація. Різноманітні географічні умови визначають вплив урбанізованих територій зміни клімату, серед яких слід виділити характерний місцевий клімат, висоту розташування та віддаленість родовищ корисних копалин. Кліматичні умови кожної конкретної урбоекосистеми впливають на необхідність опалення та охолодження, а від географічного розташування стосовно природних ресурсів залежать типи палива, які використовуються для виробництва енергії, тим самим визначаючи рівень викидів парникових газів. На можливість використання поновлюваних джерел енергії (сонячна, вітрова, гідротермальна, геотермальна, морських хвиль, припливів та відливів) та пов'язаною з цим ймовірністю зниження рівня викидів парникових газів також впливає розташування території. В якості прикладу, слід привести наявність великих річок як обов'язкову вимогу для будівництва гідроелектростанцій. Перераховані вище вітряні, геотермальні, приливні та хвильові електростанції також залежать від наявності відповідних ресурсів у конкретних регіонах.

Демографічна ситуація. Значна відмінність показників викидів парникових газів на рівні окремих країн вказує на те, що кількість населення сама собою впливає безпосередньо на глобальне потепління. У глобальному масштабі території з найбільш щільною заселеністю мають низький рівень викидів парникових газів на людину. Країни, що розвиваються, менше викидають CO_2 порівняно до розвинених країн, рівень демографічного зростання у яких значно нижче. Демографічний склад суспільства також

позначається на процесах споживання, а отже і викидах парникових газів, приміром, збільшення частки людей похилого віку у віковій структурі суспільства, зменшення кількості дітей у сім'ї призводить до збільшення енерговитрат в перерахунку на одну людину. Парадоксально, але зниження зростання населення може призвести до збільшення викидів, оскільки сповільнене зростання населення та зменшення кількості членів сім'ї сприяє утворенню більшої кількості сімей та, відповідно, більшій кількості доходів, які спрямовуються на споживання. Зважаючи на це, необхідно враховувати, що внесок міської території у зміну клімату залежить зовсім не від абсолютної кількості людей, що живуть на цій території. Скоріше, необхідно враховувати структуру цих територій та моделі поведінки їх мешканців, які спричиняють найбільший вплив.

Форма та щільність міських територій призводить до різних соціальних та екологічних наслідків. З одного боку, критично висока щільність населення у багатьох містах країн, що розвиваються – особливо в районах незапланованої забудови – має шкідливі наслідки для здоров'я та робить жителів цих районів уразливими до зміни клімату та кліматичних катастроф. З іншого боку, низька щільність населення на багатьох приміських територіях Північної Америки зумовлює високий рівень споживання енергії в перерахунку на одне домогосподарство, що пов'язано із розосередженням міст та інтенсивним використанням власного транспорту. Підраховано, що загальна кількість міського населення в країнах, що розвиваються, подвоїться у період із 2000 по 2030 рік, а розміри забудованої міської території збільшаться втричі. Висока концентрація населення та економічної діяльності на урбанізованих територіях, може призвести до централізації економіки, а це, в свою чергу, позитивно впливатиме на використання енергії та емісію парникових газів.

Щільність населення в урбоекосистемах також впливає на енергоспоживання окремо взятого домогосподарства, оскільки щільніше заселення висотної забудови призводить до зменшення кількості енергії, необхідної для опалення. Щільно забудовані багатоповерхівками міські території будуть концентрувати різноманітні послуги, в тому числі й енергетичні, що призведе до зменшення кількості викидів парникових газів на людину. Паралельно зникає необхідність переміщення на далекі відстані, отже покращується система громадського транспорту та накладаються обмеження на розміри житлових приміщень, пов'язані з нестачею та високою вартістю земель.

Міська економіка. Типи економічної діяльності, яка здійснюється на міських територіях безпосередньо впливають на рівень викидів парникових газів. Успішний економічний розвиток урбоекосистеми залежать від кількості вироблених товарів (що виробляються на даній території чи інших місцях), а виробничі території, у свою чергу, також залежать від послуг, запропонованих у містах. Багато міст світу сьогодні стають центрами товарообігу та споживання товарів, при цьому рівень викидів парникових газів у межах таких міст невисокий.

Політика вимірювання викидів. Спостерігається дуже велика різниця у впливі різних урбоекосистем на зміну клімату, приміром при врахуванні виключно прямих викидів на людину в тій чи іншій країні, цей показник може відрізнятися у 100 і більше разів. Рівень викидів на людину, включаючи викиди, спричинені споживанням товарів та утворенням відходів, може ще більше бути контрастним до 1000 разів, залежно від обставин життя, а також особистого вибору мешканців. Різниця в показниках при вимірюванні кількості викидів на основі даних про споживання та виробничих даних, природно, призвела до політизації питання виміру викидів парникових газів урбоекосистемами.

Міські території в різних країнах і навіть у межах однієї країни, мають різні показники викидів, залежно від екологічних, економічних, соціальних, політичних та юридичних аспектів на місцевому та національному рівні. Політична воля та політика, що проводиться, на світовому, національному та місцевому рівнях є визначальним фактором під час обліку викидів парникових газів. В теперішній час є ще безліч невирішних питань, приміром, чи використовувати методологію обліку загального екологічного впливу або, навпаки, дотримуватися методології обліку тільки викидів вуглецю; чи використовувати зазначені вище розрахунки на основі виробничих даних, або розрахунки на основі даних про споживання; і чи є процеси виробництва та споживання важливішими з погляду викидів парникових газів на урбанізованих територіях за структурні та контекстуальні компоненти.

2.4. Досвід ЄС щодо обліку парникових газів в техногенно навантажених урбоекосистемах

Міжурядовою групою експертів з питань зміни клімату було розроблено міжнародні протоколи щодо вимірювання викидів парникових газів. Національні системи обліку парникових газів ґрунтуються на точному списку критеріїв, розроблених цією групою. Проте запропонована методологія, яка була розроблена для систем національного рівня, не описує процедуру вимірювання викидів на рівні місцевої влади, отже викликає певні труднощі при впровадженні на рівні техногенно навантажених урбоекосистем. Однак розуміння важливості врахування парникових газів на міських територіях призвело до спроб розробити відповідні системи обліку викидів на рівні міста, серед яких слід виділити окремо, створений Асоціацією місцевих органів влади за сталий розвиток, рамковий документ – Міжнародний протокол аналізу викидів парникових газів для місцевих органів влади, якого дотримується більшість міських систем обліку викидів парникових газів у світі. Міжнародний стандарт нещодавно набув чинності щодо визначення викидів парникових газів для міст та допомагає міській владі розрахувати кількість викидів парникових газів у межах своїх міст. Останнім часом великі виробництва та корпорації все краще розуміють важливість впливу своєї діяльності на стан навколишнього середовища, тому починають створювати власні системи обліку викидів парникових газів. Протокол з парникових газів

визначає механізм, за допомогою якого приватний бізнес може зробити свій внесок у зниження викидів парникових газів [4].

2.5. Базовий кадастр викидів і основні джерела емісії CO_2 в місті

Базовий кадастр викидів визначає обсяг CO_2, який викидається у зв'язку із енергоспоживанням на території міста у базовому році. За рахунок базового кадастру визначають головні антропогенні джерела емісії CO_2 та, відповідно до їх особливостей, встановлюють головні заходи, спрямовані на зменшення викидів. Базовий кадастр викидів є основним інструментом, який дозволяє міським органам влади адекватно оцінювати ефективність власних заходів, спрямованих на боротьбу зі зміною клімату. Базовим роком оцінки поточного рівня викидів CO_2 беруть попередній рік або рік по якому є повна та достовірна інформації щодо споживання усіх видів енергоносіїв при відносно стабільній економіці міста після світової економічної кризи 2008 р. Для розрахунку базового кадастру викидів має бути створена база споживання основних видів енергетичних ресурсів, яка включає найголовніші джерела емісії CO_2 від різних видів діяльності:

- у житловому секторі та бюджетній сфері – складається із викидів за рахунок спалення природного газу в житлових будинках, використання електроенергії та теплової енергії з централізованої системи теплопостачання;
- в промисловості та сфері підприємницької діяльності – складається із викидів за рахунок спалення природного газу та використання електроенергії промисловими підприємствами та комерційними структурами.

Питання для самоконтролю по розділу 2

1. Розкрийте сутність поняття «базовий кадастр викидів». Особливості його використання на рівні міста.
2. Назвіть фактори, що найбільше впливають на викиди парникових газів на прикладі конкретної урбоекосистеми.
3. Яким чином впливає розбудова та функціонування урбоекосистеми на зміну клімату?
4. Якими чинниками зумовлюється динаміка викидів парникових газів в ЄС та в чому полягають відмінності для України?
5. Розкрийте сутність політики вимірювання викидів на прикладі міст ЄС та України.

Розділ 3: Вразливість техногенно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату

3.1. Негативні наслідки зміни клімату, які впливають вразливість урбоекосистеми

3.2. Вразливість матеріальної інфраструктури урбоекосистеми

3.3. Вразливість економіки урбоекосистеми

3.4. Вразливість соціальної сфери урбоекосистеми

3.5. Оцінка вразливості урбоекосистеми до зміни клімату

3.6. Заходи зниження вразливості техногенно навантажених урбоекосистем

Ключові слова: *вразливість, індекс вразливості до зміни клімату, вразливість матеріальної інфраструктури, вразливість економіки, вразливість соціальної сфери, заходи зниження вразливості.*

Вразливість до зміни клімату постає наскрізним питанням, яке слід враховувати в стратегіях стійкого розвитку урбоекосистем. Вразливість відбиває ступінь, до якого система піддається несприятливим наслідкам мінливості клімату та екстремальних ситуацій, або нездатна впоратися з ними [35]. Вона виступає функцією характеру, величини та швидкості зміни клімату, а також чутливості системи та здатності до адаптації [44, 57]. Вплив зміни клімату визначається як характер і ступінь, до якого система піддається значним кліматичним коливанням, а чутливість, відповідно, як ступінь, до якої на систему впливають кліматичні стимули.

3.1. Негативні наслідки зміни клімату, які впливають на вразливість урбоекосистеми

Під **вразливістю** розуміють схильність системи до несприятливого впливу зміни клімату [45], яка ґрунтується на трьох компонентах: вплив, чутливість та здатність до адаптації (рис. 3.1). Вплив визначає кількість і швидкість змін, яких зазнає урбоекосистема прямо, як то зміна температури, опадів, так і опосередковано, приміром, втрата рекреаційних зон внаслідок засухи та загибелі рослинності. Чутливість відноситься до характеристик урбоекосистеми та залежать від конкретних умов навколишнього середовища, і ступеня, до якого на нього ймовірно вплине зміна клімату, насамперед, температура або гідрологічні вимоги. Адаптивна здатність – це здатність урбоекосистеми справлятися з умовами, які змінюються, пристосовуватись та розвиватись в них.

Вразливість різних територій до зміни клімату може досить суттєво відрізнятися, адже, визначається цілою низкою різних чинників, які, в свою чергу, призводять до різноманітних феноменів (табл. 3.1). Загально відомо, що урбанізовані території є більш вразливими, порівняно з іншими типами людських поселень, адже вони вже зазнали докорінної трансформації

внаслідок людської діяльності, крім того, зазвичай, в них порушено стан гомеостазу.

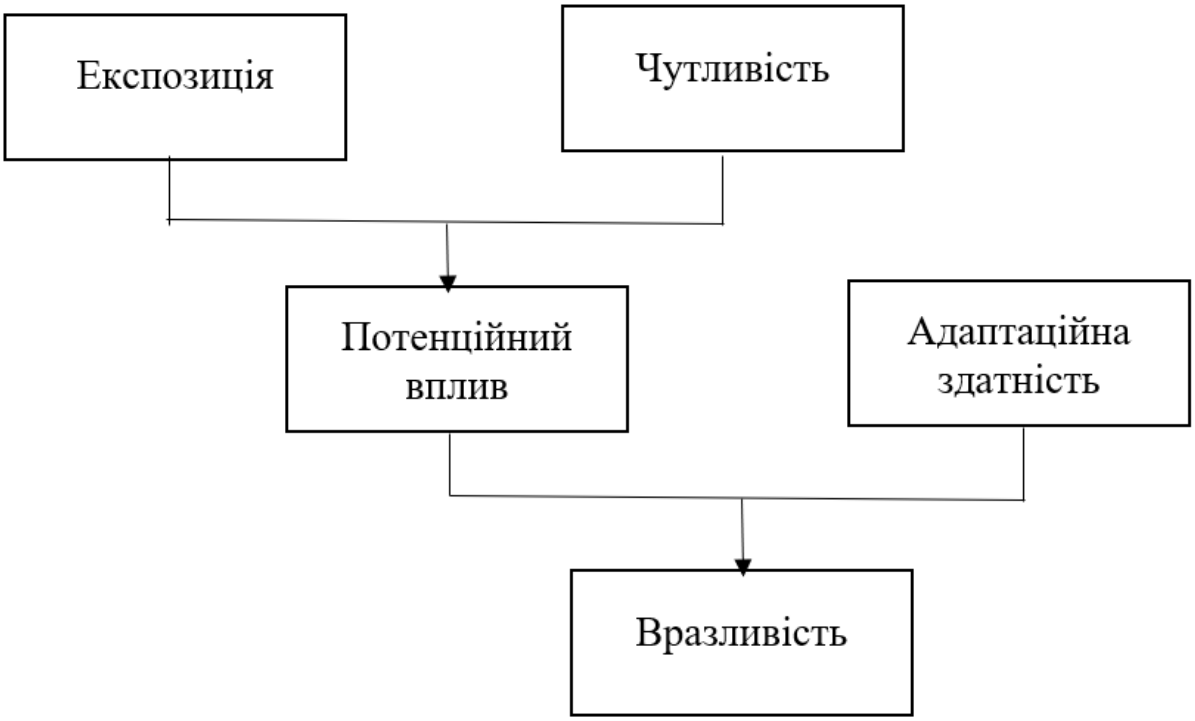

Рис. 3.1. Формування вразливості до зміни клімату

Поєднання негативних наслідків урбанізації та кліматичної зміни, що спостерігається у великих містах, створюють пряму загрозу екологічній, економічній та соціальній стабільності як у світі в цілому, так і в окремих країнах [21]. Посилення проявів зміни клімату та аналіз їх негативних наслідків у містах свідчать, що зміна клімату спричинює виникнення у містах унікальних проблем (табл. 3.1). До основних потенційних негативних наслідків зміни клімату, що можуть проявитися у містах належать та зумовлюють його вразливість:

- тепловий стрес через формування «острову тепла»;
- підтоплення урбанізованої території;
- зменшення площ зелених зон урбоекосистем та порушення видового складу міської рослинності;
- стихійні гідрометеорологічні явища залежно від географічного розташування;
- зменшення кількості та погіршення якості питної води;
- зростання кількості інфекційних захворювань та алергічних проявів у населення;
- порушення нормального функціонування енергетичних систем техногенно навантаженої урбоекосистеми.

Таблиця 3.1

Передбачувані наслідки для урбоекосистем через виникнення різноманітних кліматичних феноменів [4]

Кліматичний феномен	Ймовірність	Основні передбачувані наслідки
Менше холодних днів та ночей	Майже абсолютна	Зниження потреби в енергії для опалення
Більша кількість теплих днів і ночей, підвищення температури на більшій частині суші	Майже абсолютна	Збільшення потреби в енергії для охолодження.
Більш висока температура	Майже абсолютна	Найменша кількість пошкоджень транспортної системи від снігу та льоду, які впливають на зимовий туризм. Зміна області вічної мерзлоти, збитки будівель та інфраструктури.
«Хвилі спеки»: частота зростає на більшій частині суші	Цілком можливо	Зниження якості життя людей у теплих регіонах без кондиціонерів повітря; вплив на літніх, малолітніх та бідних мешканців, включаючи значну кількість смертельних випадків. Збільшення енергії, що використовується для кондиціювання.
Інтенсивні опади: частота зростає в більшості регіонів	Цілком можливо	Руйнування поселень, економіки, транспорту повенями. Значна кількість смертельних випадків та постраждалих, шкода матеріальним активам та інфраструктурі. Можливість використання дощової води для виробництва електроенергії у багатьох регіонах.
Території, які страждають від посухи	Ймовірно	Нестача води для людей, промисловості та сфери послуг; зниження кількості електроенергії, що виробляється гідроелектростанціями. Можлива міграція людей.
Збільшення кількості потужних тропічних циклонів	Ймовірно	Руйнування поселень повенями та вітром. Руйнування системи водопостачання. Припинення страхового відшкодування на територіях з високим ступенем ризику (принаймні в розвинених країнах). Велика кількість смертельних випадків, постраждалих, значні збитки власності. Можлива міграція населення.
Часте різке підвищення рівня моря (включаючи цунамі)	Ймовірно	Зниження кількості прісної води через проникнення до неї морської. Велика кількість смертельних випадків, постраждалих, значна шкода власності. Можлива міграція населення.

Слід зазначити, що вразливість міста до ризику виникнення теплового стресу – основного наслідку зміни клімату, притаманного всім без виключення урбоекосистемам посилюється наступними чинниками, а саме:

- недостатня кількість зелених насаджень в місті, перш за все посухостійких, які відзначаються інтенсивним ростом, широко розгалуженою кореневою системою здатних стримувати пил, вітер, отже запобігати вітровій ерозії;

- тенденція до скорочення площ існуючих зелених зон (парків, скверів, тощо) внаслідок забудови територій (температура повітря всередині зеленого масиву, в середньому, на 2-3 ^{0}C нижча, ніж у середині міського кварталу);
- висока щільність забудови та запечатаність асфальто-дорожнім покриттям;
- недостатня кількість рекреаційних зон зі сприятливими умовами для відпочинку населення під час спеки (зелені зони, зони відпочинку на водоймах, тощо).

Існує декілька ключових моментів, щодо вразливості більшості великих міст:

- інтенсивність впливу зміни клімату на жителів міста залежить від їх статі, віку, достатку;
- обмеження адаптаційного потенціалу інфраструктури та загроза життя мешканців міста через неможливість корегування зонування території вже сформованої урбоекосистеми, а також невідповідність забудови сучасним будівельним нормам і стандартам;
- тривалість і глобальність наслідків зміни клімату;
- динамічний розвиток молодих міських районів, зумовлює суттєвий дефіцит управління, інфраструктури, отже і пристосування до протидії загрозі кліматичної зміни.

Вразливість техногенно навантаженої урбоекосистеми до певного негативного наслідку зміни клімату може змінюватися з часом, що пов’язано з реалізацією цільових превентивних програм, спрямованих на підвищення стійкості міста або зміни економічних, соціальних та інших умов, які впливають на вразливість. В свою чергу різні рівні вразливості урбоекосистеми призводять до різного роду збитків та втрат за аналогічних умов впливу фізичних чинників.

3.2. Вразливість матеріальної інфраструктури урбоекосистеми

Зміна клімату впливає на матеріальну інфраструктуру міста – його мережі, будівлі, дороги, каналізацію та енергетичні системи – що, у свою чергу, позначається на добробуті та способі життя його мешканців. Цей вплив буде особливо сильним у розташованих низько відносно рівня моря прибережних зонах, де знаходяться багато з найбільших міст світу. Хоча до таких територій належить лише 2% загальної території суші, у цих зонах проживає приблизно 13% світового міського населення.

Прямий вплив на матеріальну інфраструктуру полягає в загрозі життю людей через руйнування або пошкодження транспортних систем та довготривале порушення сполучення. Значне руйнування будівель та споруд очікується у разі збільшення кількості стихійних лих та катастроф, пов’язаних зі зміною клімату, особливо коли руйнівним стихійним лихом будуть виступати повені, які в результаті збільшення кількості опадів відбуватимуться частіше у різних регіонах світу. Для урбоекосистем, розташованих на прибережних зонах, також буде характерна ерозія берегової

лінії, а проникнення морської води може руйнувати будівлі і робити деякі райони непридатними для життя. Осідання рівня земної кори – ще один «довготривалий» фактор, що становить ризик для житлового та комерційного фондів міст. Слід зазначити, що швидкість осідання може досягати одного метра за 10 років.

Зміна клімату може зруйнувати транспортну систему, приміром, у прибережних містах підвищення рівня моря призведе до руйнування автошляхів через розмиття подушки дорожнього покриття, а інколи навіть опори мостів. Інтенсивні опади та їх наслідки у вигляді повенів та зсувів сприяють довготривалим порушенням транспортної інфраструктури, завдаючи шкоди шосе, морським портам, мостам та злітно-посадковим смугам аеропортів. Підвищення температури повітря, зокрема тривалі періоди посухи та більше високі середні температури, також негативно впливають на дорожнє покриття та призводять до необхідності частішого ремонту [4].

Опосередкований вплив полягає у високому споживанні енергії та пов'язаних із нею ресурсів, адже зміна клімату майже завжди порушує структуру попиту та пропозиції в енергетиці. У сукупності зростання міського населення, зміна місцевих погодних умов, накопичення тепла на територіях техногенно навантажених урбоекосистем та економічного розвитку можуть призвести до істотного збільшення потреби в енергії. В той же час інфраструктура передачі електричної енергії буде ставати все більш вразливою та потерпати від штормів і повеней, які почастішають та стануть більш інтенсивнішими.

Зі зростанням температури та зі зміною кількості опадів буде порушена система видобутку, підготовки та розподілу води, а саме, зміна клімату ймовірно ускладнить водопостачання через зниження рівня річок, рівня ґрунтових вод, проникнення в підземні води та річки солоної води в прибережних зонах, а це вже буде позначатися не тільки на кількості, а й на якості. Паралельно, зі збільшенням температури, більш частими періодами екстремальної спеки та зростанням населення, його добробуту потреба у воді у містах у майбутньому має зрости. Вже зараз питоме водоспоживання для мешканців мегаполісів складає близько 500 л на добу. Виникнуть проблеми з каналізаційними системами урбанізованих територій, особливо з ливневим стоком внаслідок повенів.

3.3. Вразливість економіки урбоекосистеми

Збільшення частоти та інтенсивності екстремальних кліматичних умов, а також їх довготривалі зміни підвищать уразливість міських економічних активів та, відповідно, вартість ведення бізнесу. Зміна клімату може вплинути на широкий спектр видів економічної діяльності, перш за все на торгівлю, промислове виробництво, туризм та страхові послуги.

Прямі наслідки зміни клімату на економіку включають спричинення шкоди будинкам, інфраструктурі та іншим активам, особливо тяжкими вони будуть у регіонах, де промислові підприємства розташовані на вразливих територіях, як то прибережні зони та рівнини, схильні до повеней. Непрямі

наслідки зміни клімату відбиваються через затримки у виконанні з подальшим розірванням контрактів, пов'язані із впливом клімату на систему транспорту, зв'язку та енергетики [4]. Так само загрозі піддаються роздрібні та комерційні послуги, оскільки ці зміни впливають на ланцюги поставок, мережі розподілу та транспортну систему, та також стосуються процесу споживання.

Економіка міст-туристичних центрів може зазнати значних грошових втрат і зіткнутися зі зменшенням кількості робочих місць через брак туристів внаслідок кліматичних змін.

На страхову індустрію будуть впливати екстремальні кліматичні умови, а саме, при підвищенні попиту на страхові послуги, знизиться розмір страхових відшкодувань. Імовірно, вартість страхових послуг значно зросте у разі збільшення кількості нерегулярних, але катастрофічних стихійних лих. Очікування настання подій, що призводять до великих збитків, позначиться на розмірах страхового відшкодування.

3.4. Вразливість соціальної сфери урбоекосистеми

Зміна клімату суттєво впливає на стан охорони здоров'я мешканців техногенно навантажених урбоекосистем. При цьому бідність стає ускладнювальною обставиною, яка істотно посилює вплив зміни клімату на здоров'я. Зі зростанням числа людей, які переїжджають до міст, і збільшенням температури повітря, а також швидким старінням суспільства, загроза підвищення рівня смертності від спеки у майбутньому стане реальною. Вже зараз показник смертності від спеки при реєстрації причин смерті значно занижується. Стихійні лиха мають як негайний, так і довготривалий вплив на охорону здоров'я. Наслідками повеней і штормів стають не лише фактична загибель людей та збитки їх здоров'ю, а й довготривалий збиток, завданий об'єктам, які забезпечують систему охорони здоров'я, приміром вимкнення електроенергії може порушити роботу лікарень, а забезпечення питною водою буде ускладнено у разі завдання шкоди об'єктам водопостачання, або нестачі електроенергії [4].

Кліматичні фактори – температура, опади, вологість та підвищення рівня моря змінюють область поширення, циклічність і методи передачі інфекційних захворювань. Повінь може забруднити систему водопостачання токсинами та хвороботворними організмами, що призведе до збільшення кількості кишкових розладів та захворювань дихальних органів.

Зміна клімату по-різному впливає на різні групи людей:

- збільшують гендерну та расову нерівність;
- стосуються бідних родин і бідних жінок більше, ніж заможних.

3.5. Оцінка вразливості урбоекосистеми до зміни клімату

Оцінка вразливості до зміни клімату потребує чіткої концептуальної основи та має важливе значення для розробки відповідної політики адаптації [47]. Виходячи з чинників формування вразливості (рис. 3.1) ступень вразливості оцінюється наступним чином:

висока чутливість + низький адаптаційний потенціал = висока вразливість

низька чутливість + високий адаптаційний потенціал = низька вразливість

висока чутливість + високий адаптаційний потенціал = середня вразливість

Вразливість до зміни клімату повинна враховувати, як це вплине на навколишнє середовище, суспільство та економіку в різних масштабах, а також здатність до адаптації. Оцінка вразливості є необхідною передумовою для розробки планів і стратегій підвищення стійкості техногенно навантажених урбоекосистем до зміни клімату. На оцінці вразливості конкретного міста позначаються відмінності внаслідок фізико-географічного розташування та соціально-економічних умов.

Для масштабів урбоекосистеми добре себе зарекомендувало використання індексу вразливості до зміни клімату, що дає змогу для картографування та ранжування вразливості урбанізованої території [51, 57]. Слід зазначити, що оцінка вразливості тісно пов'язана з проблемами багатокритеріального прийняття рішень, оскільки вона застосовує просторове ранжування небезпек. Ранжування показників вразливості можна використовувати як підґрунтя для визначення пріоритетних напрямків при розробці планів адаптації до зміни клімату для техногенно навантаженої урбоекосистеми [33].

Вразливість визначається як комбінація чутливості до кліматичних коливань, ймовірності несприятливих змін клімату та здатності до адаптації. Для кожного з цих компонентів уразливості можна побудувати та об'єднати формальні індекси. Індекс вразливості до зміни клімату надає можливість визначення місця, де ризики можуть бути відносно високими. Його можна використовувати як числову основу для ранжування місць за потенційною вразливістю до зміни клімату. Індекс вразливості до зміни клімату – це зведений індекс, який складається з трьох компонентів: експозиція, чутливість і здатність до адаптації, математично його можна описати наступним чином:

$$CVI=f\ (\text{експозиція, чутливість, адаптивна здатність}). \qquad (3.1)$$

Де вплив, який відбивається через експозицію (E), стосується різноманітних кліматичних подразників, таких як підвищення рівня моря, зміни температури, зміни кількості опадів, хвилі спеки, сильні зливи та кліматичні посухи. Чутливість (S) – це ступінь, до якого система змінюється або на який впливають збурення. Адаптивна здатність (AC) – це здатність системи адаптуватися до екологічних небезпек або змін у політиці та розширювати діапазон мінливості, з якою вона може підтримувати стабільність [57].

Значення індексу вразливості до зміни клімату можна визначити за допомогою багатокритерної системи, в яку входить 6 об'єднаних множинних компонентів – глобальних факторів впливу. Структура індексу вразливості до

зміни клімату є зваженою, отже середнє значення кількох компонентів, записують математично так:

$$CVI = \frac{r_g G + r_r R + r_a A + r_r C + r_u U + r_e E}{r_g + r_r + r_a + r_r + r_u + r_e} \quad (3.2)$$

де G, R, A, C, U та E є геопросторовою мінливістю, кількісним визначенням ресурсів, доступністю та правами власності, спроможністю людей та установ, використанням та економічною ефективністю, підтримкою екологічної цілісності, відповідно. Вага, наведена для кожного компонента, визначається як фактор r, що відбиває актуальність компонента в конкретному місці та ймовірний ступінь ризику пов'язаний з ним [55].

Отримані оцінки зазначеного показника дають змогу встановити міру вразливості до існуючої мінливості клімату на даний момент часу та дозволяють робити порівняння між різними місцями в межах урбоекосистеми та/або різних урбоекосистем. Значення індексу коливаються від 0 до 100, причому вищі значення вказують на високу вразливість. При створенні сценаріїв майбутніх умов, шляхом зміни значень вихідних компонентів, буде змінюватися зміна балів індексу вразливості до зміни клімату, що, в свою чергу, буде підказувати найбільш вразливі сфери та ефективні заходи з адаптації.

3.6. Типові заходи зниження вразливості техногенно навантажених урбоекосистем до зміни клімату

В теперішній час іде напрацювання заходів щодо зниження вразливості урбанізованих територій у різних секторах господарювання. Найбільш успішно зарекомендували в умовах техногенно навантажених урбоекосистем України наступні:

- модернізація та, за потреби, розширення зливової міської каналізаційної системи для прийняття значної кількості води під час зливових опадів, повторюваність та інтенсивність яких зростатиме;
- розробка системи управління дощовою водою в межах усього міста шляхом створення резервуарів для її накопичення та використання для господарських потреб;
- для зменшення водоспоживання використання ресурсозберігаючих технологій на виробництві, пристроїв в побуті та у громадських місцях;
- підтримання в належному стані водопровідної мережі та своєчасна ліквідація аварій для зменшення втрат води на шляху до споживача;
- стимулювання впровадження заходів, направлених на зниження температури приміщень без використання кондиціонерів, як то затінення за допомогою навісів над вікнами, висаджування дерев особливо в умовах малоповерхової забудови;
- сприяння розвитку у місті альтернативних джерел енергії залежно від природно-кліматичних умов – вітрової, сонячної, гідротермальної,

геотермальної, особливу увагу слід приділити використанню альтернативних джерел енергії в індивідуальних домогосподарствах;

- при озелененні урбанізованих територій не використовувати алергенні рослини, адже серед міських жителів може спостерігатися суттєве зростання випадків проявів алергії;
- забезпечення термоізоляції будівель для зменшення нагріву приміщень влітку та втрат тепла взимку;
- розробка та впровадження системи оповіщення про спекотну погоду, яка може зашкодити здоров'ю, усіх категорій споживачів з використанням різноманітних способів передачі інформації: для підприємств та організацій – за допомогою інтернету та факсу, для населення – смс-розсилка, радіо та телебачення, з обов'язковим проведенням роз'яснювальної роботи серед населення щодо дій під час «хвиль тепла»;
- створення питних фонтанчиків та бюветів по всій території урбоекосистеми, а також забезпечення створення комфортного температурного режиму під час «хвиль тепла» у місцях скупчення значної кількості людей, передусім зважаючи на вразливі групи населення (дитячі дошкільні установи, лікарні, будинки для людей похилого віку, тощо), а також облаштування додаткових затінених зон для населення в парках, скверах, біля водойм в періоди високих температур;
- моніторинг вразливих груп населення з обов'язковим визначенням їх кількості, розподілу по території міста, по районах, тощо) для координування дій, спрямованих на допомогу у випадку спекотної погоди.

Питання для самоконтролю по розділу 3

1. Обґрунтуйте вибір заходів зі зниження вразливості до змін клімату на прикладі конкретної урбоекосистеми.
2. Наведіть та розкрийте сутність чинників вразливості. Яким чином відбувається формування вразливості?
3. В чому полягають особливості вразливості економіки техногенно навантажених систем до змін клімату?
4. В чому полягають особливості вразливості сфери життєзабезпечення міста до зміни клімату?
5. Наведіть конкретні приклади передбачуваних кліматичних наслідків через зміну клімату для міст України та ЄС.

Розділ 4: Пом’якшення наслідків зміни клімату на території техногенно навантаженої урбоекосистеми

4.1. Шляхи пом’якшення зміни клімату

4.2. Планування території міст та міський розвиток, спрямований на пом’якшення зміни клімату

4.3. Пом’якшення зміни клімату в будівельному секторі

4.4. Пом’якшення зміни клімату в міській інфраструктурі

4.5. Пом’якшення зміни клімату в транспортній системі

4.6. Секвестрація вуглецю в межах урбоеоксистем

4.7. Оцінка ефективності впровадження міських ініціатив з пом’якшення клімату

Ключові слова: *пом’якшення зміни клімату, енергоефективна будівля, енергоефективність, секвестрація вуглецю, технології негативних викидів, декарбонізація.*

Під пом’якшенням зміни клімату розуміють скорочення або упередження викидів парникових газів. Пом’якшення може бути пов’язане з використанням нових технологій і відновлюваних джерел енергії, підвищенням енергоефективності старого обладнання, зміною методів управління або поведінки споживачів. Це може бути як складний план створення урбоекосистеми сталого розвитку, так і простий – на рівні окремого домогосподарства. У світі впроваджують ініціативи різного роду, починаючи від високотехнологічних систем метро і закінчуючи велосипедними та пішохідними доріжками.

4.1. Шляхи пом’якшення зміни клімату

Обговорюються три основні підходи до пом’якшення наслідків зміни клімату [38]. По-перше, звичайні заходи щодо пом’якшення наслідків шляхом технології декарбонізації та методів, які зменшують викиди CO_2, такі як відновлювані джерела енергії, перехід на інший вид палива, підвищення ефективності, ядерна енергетика, а також зберігання та використання вуглецю. Більшість цих технологій пройшли успішну апробацію та мають прийнятний рівень керованого ризику. Другий шлях являє собою новий набір технологій і методів, які були нещодавно запропоновані. Ці методи потенційно застосовуються для уловлювання та поглинання CO_2 з атмосфери та називаються технологіями негативних викидів або методами видалення вуглецевого газу, основними серед яких є біоенергетичне уловлювання та зберігання вуглецю, біовугілля, посилене вивітрювання, пряме уловлювання та зберігання вуглецю в повітрі, удобрення океану, підвищення лужності океану, поглинання вуглецю в ґрунті, заліснення та відновлення лісів, будівництво та відновлення водно-болотних угідь, а також альтернативні методи утилізації та зберігання негативних викидів, такі як карбонізація мінералів і використання біомаси в будівництві.

Нарешті, третій шлях стосується принципу зміни радіаційного балансу Землі шляхом управління сонячною та земною радіацією. Такі методи називають геоінженерними технологіями радіаційного примусу, а головною метою є стабілізація або зниження температури. На відміну від технологій негативних викидів, це досягається без зміни концентрації парникових газів в атмосфері. Основні методи геоінженерії радіаційного впливу включають введення стратосферного аерозолю, освітлення морського неба, розрідження перистих хмар, космічні дзеркала, поверхневе освітлення та різні методи управління радіацією. Усі ці методи все ще є теоретичними або знаходяться на дуже ранніх стадіях випробувань і містять багато невизначеності та ризику з точки зору практичного широкомасштабного використання. На даний момент методи геоінженерії радіаційного впливу не включені в рамки політики ЄС до зміни клімату.

Дії з пом'якшення наслідків зміни клімату стосуються стандартів, які використовуються для обмеження урбанізації; будівельної промисловості; необхідності пересування містом та підвищення енергозбереження міської інфраструктури; транспорту та зменшення викидів вуглецю. Далі основну увагу буде приділено заходам з пом'якшення наслідків зміни клімату, які пройшли успішну реалізацію на рівні техногенно навантажених урбоекосистем

4.2. Планування території міст та міський розвиток, спрямований на пом'якшення зміни клімату

Викиди парникових газів та їх розповсюдження в урбоекосистемі залежать від структури міської території, а саме, від розташування та щільності промислових підприємств, а також від міського планування, приміром вклинювання промислових зон в житлову забудову.

Планувальні засоби та прийоми благоустрою надають можливість пом'якшити зміни, як клімату урбоекосистеми в цілому, так й мікроклімату окремих районів.

Різні стратегії планування, у тому числі зонування земель, генеральний план забудови, ущільнення міської забудови, забудова змішаного призначення та впровадження «низьковуглецевих» принципів будівництва досить ефективно зарекомендували себе при пом'якшенні наслідків зміни клімату та досягнення сталого розвитку техногенно навантажених урбоекосистем. Однак при впровадженні зазначених заходів спостерігається соціальне розшарування та збільшення нерівності через створення певних районів зі сталим розвитком для більш заможних верств населення. Пом'якшення до зміни клімату з точки зору планування та розвитку урбоекосистем відбувається через поліпшення стану мікроклімату, на який впливає відсоткове співвідношення забудованої території, територій малої рекреації (дворовий простір), територій проїздів, стоянок, гаражів, сусідство з промисловими об'єктами та/або об'єктами міської інфраструктури, які постійно турбують населення (вокзали, ринки, кладовища), «стерильність» житлової зони (наявність чи відсутність на її території ділянок з іншим функціональним призначенням), щільність

населення (як денного, так і нічного, особливо для ділянок соціального житла), рівні гранично допустимої концентрації шкідливих речовин в атмосфері, тощо.

Поліпшення мікрокліматичних умов, урбоекосистем, що зазнали змін клімату відбувається за рахунок наступних містобудівних факторів:

- функціональне використання території;
- щільність, висота і прийоми забудови;
- наявність зелених насаджень та їхній породний склад.

Функціональні зони міста (промислова, рекреаційна, сельбищна (висотна та приватний сектор), адміністративний центр) поділяють за ступенем забруднення повітря парниковими газами, з виділенням в їх межах наявності водойм і зелених насаджень. Щільність, висота і композиція забудови впливають на інсоляцію території, швидкість вітру й умови аерації, що в свою чергу, за умов правильного використання позначається пом'якшенні зміни клімату, приміром запобігання утворення «острову тепла». Пом'якшення клімату зеленими насадженнями пов'язано, насамперед, з їх здатністю поглинати CO_2 в процесі фотосинтезу, а вже зниження прямої сонячної радіації, температури повітря і поверхонь, швидкості вітру й підвищення вологості повітря слід віднести до заходів з адаптації [27]. Слід зазначити, що озеленення є універсальним заходом спрямованим як на пом'якшення зміни клімату так і на пристосування до них, що особливо чітко позначається на урбоекосистемі.

4.3. Пом'якшення зміни клімату в будівельному секторі

Проєктування та будівництво нових енергоефективних будівель є основним фактором у процесі пом'якшення наслідків зміни клімату, оскільки в більшості країн будівельний сектор споживає приблизно одну третину від загальної кількості використовуваної енергії та ще більшу частку виробленої електрики. Незважаючи на широкий спектр запропонованих ініціатив, вживані в будівельному секторі заходи в основному зосереджені на енергозберігаючих технологіях та матеріалах, альтернативних джерелах енергії та методиках зниження попиту. Зазначені ініціативи у будівельному секторі зазвичай пропонуються у містах розвинених країн. У бідних країнах, заходи з пом'якшення зміни клімату зводяться тільки до встановлення енергозберігаючого обладнання в муніципальних будинках.

Енергоефективна будівля ґрунтується на окремому рішенні або системі рішень, спрямованих на зменшення витрат енергії для забезпечення мікроклімату в приміщеннях цієї будівлі (рис. 4.1). Під енергоефективністю розуміють раціональне використання енергетичних ресурсів, досягнення економічно доцільної ефективності використання існуючих паливноенергетичних ресурсів при дійсному рівні розвитку техніки та технологій з дотриманням вимог до навколишнього середовища, передусім скорочення парникових газів. Витрати на утримання енергоефективного будинку прагнуть досягти нуля. Показником енергоефективності є загальна

витрата кВт / год / кв.м в рік, яка згідно стандартів ЄС має становити 40-45 кВт / год / кв.м в рік.

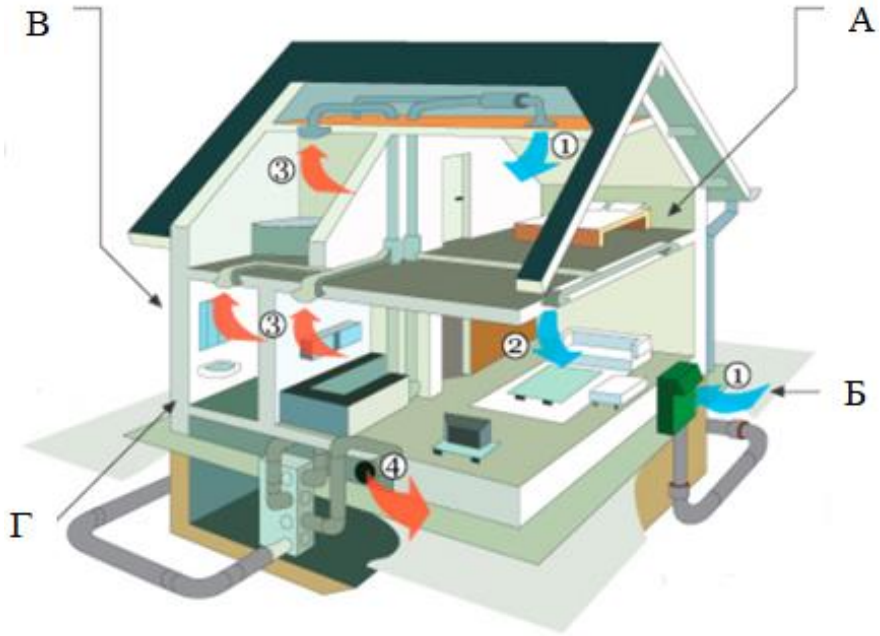

Рис. 4.1. Енергоефективна будівля

Примітка: 1 – чисте і свіже повітря, яке надходить в житловий будинок; 2 – повітря перетікає в коридори та сходові клітини; 3 – повітря потрапляє до кухні, ванни, туалету; 4 – повітря виходить з будинку, забираючи з собою неприємні запахи; А – внутрішня теплоізоляція (мінеральноватні, органічні утеплювачі; пінополістерол, вакуумна теплоізоляція), яка створює навколо будинку оболонку без розривів та зменшення товщини; Б – вентиляція з рекуперацією тепла; В – теплі вікна з використанням широких віконних профілів з внутрішнім утепленням, потрійне засклення з двома низькоемісійними покриттями заповненими інертним газом, спеціальні «дистанційні» рамки по краю склопакетів; Г – герметичність зовнішньої оболонки за рахунок суцільної теплоізоляції та пароізоляційних стрічок.

Слід зазначити, що заходи спрямовані на підвищення енергозбереження у будівельному секторі, можуть сприяти не тільки різноманітним соціальним та екологічним перевагам, існує небезпека зворотного ефекту, а саме, зі збільшенням ефективності зростає рівень споживання, тому заходи, спрямовані на підвищення енергозбереження, повинні поєднуватися з розробкою низьковуглецевих відновлюваних джерел енергії та зниженням попиту на енергію.

4.4. Пом’якшення зміни клімату в міській інфраструктурі

Міська інфраструктура – зокрема енергетичні мережі (електричні та газові), водні та очисні системи – є ключовим фактором, які визначають нинішню та майбутню динаміку викидів парникових газів. Тип енергопостачання, вуглецевомісткість водопостачання, каналізації та очисних

споруд, а також виділення метану з полігонів є важливими компонентами виділень парникових газів на рівні урбоекосистеми.

Рис. 4.2. Процес отримання електроенергії з ТПВ

Примітка: 1 – пробурення свердловин у сміттєзвалище, де накопичується метан; 2 – подання метану до камер, де він очищується, осушується, фільтрується та стискається; 3 – спалення метану та перетворення його на електроенергію; 4 – збільшення напруги виробленої енергії; 5 – передача електроенергії в мережу.

Зазвичай пом’якшення наслідків зміни клімату для техногенно навантаженої урбоекосистеми досягається при переоснащенні та розвитку міської інфраструктури шляхом впровадження ініціатив сконцентрованих у сфері енергетики, приміром видобутку енергії з відходів та отримання нових форм енергопостачання. В теперішній час добре себе зарекомендували біогазові установки, що працюють на полігонах ТПВ та здатні виробляти електроенергію для потреб міста (рис. 4.2).

Значно менша кількість проєктів або планів орієнтована на зниження вуглецевої місткості водопостачання, каналізації та очисних споруд, або на зниження попиту.

Можна виділити три різні підходи до отримання електроенергії з низькою вуглецевою місткістю на рівні техногенно навантажених урбоекосистем: по-перше через скорочення вуглецевої дії існуючих систем енергопостачання; по-друге, шляхом закупівлі відновлюваної енергії для будівель або підприємств в якості заходу для надання споживачам доступу до зеленої енергії за зниженою ціною; в-третє, при розробці нових низьковуглецевих та відновлюваних енергетичних систем у містах.

4.5. Пом’якшення зміни клімату в транспортній системі

Основними заходами пом’якшення наслідків зміни клімату щодо транспорту є розвиток громадського транспорту (включаючи швидкісні автобусні системи), впровадження чистих технологій, просування безмоторного транспорту, кампанії інформування населення. Міста також є

майданчиками для експериментів та просування нових технологій, приміром, використання зрідженого природного газу на транспорті (Тегеран, Мумбаї, Дакка та Богота), біологічні типи палива (мегаполіси Бразилії).

4.6. Секвестрація вуглецю в межах урбоекосистем

Секвестрація вуглецю включає видалення викидів парникових газів з атмосфери шляхом збільшення природного «стоку вуглецю» через збереження лісових районів та збагачення річкового середовища, або за допомогою розробки сучасних технологій уловлювання та зберігання парникових газів, що утворюються в урбоекосистемі. Зв'язування вуглецю відбувається як природним чином (поглиначами вуглецю), так і в результаті антропогенної діяльності (наприклад, у процесі уловлювання та зберігання вуглецю). Довгострокове зберігання вуглецю можливо в різноманітних поглиначах, як то рослинах, ґрунті, геологічних утвореннях та океані (рис. 3).

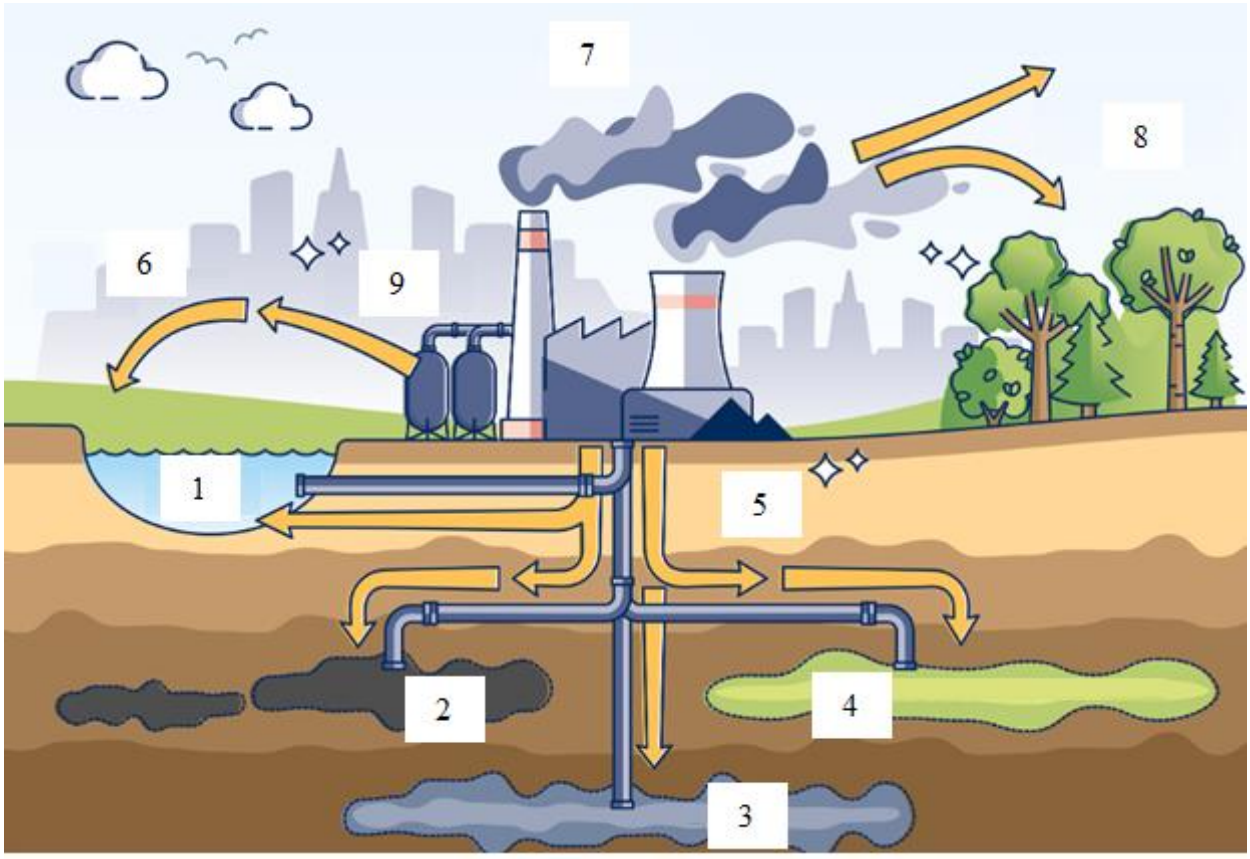

Рис. 4.3. Загальна схема секвестрація вуглецю

Примітка: 1 – ставок з бактеріями; 2 – вироблені шахти після видобутку вугілля; 3 – глибокі водоносні горизонти; 4 – вироблені резервуари нафти й газу; 5 – штучно відведений CO_2; 6 – покращення ґрунту; 7 – розсіювання CO_2; 8 – поглинання деревами CO_2 з атмосфери; 9 – захоплення і відокремлення.

Секвестрація вуглецю в більшості міст загалом залишається у зародковому стані. Технології для більш ефективного уловлювання та зберігання вуглецю все ще розробляються, а пропозиції щодо їх впровадження

у містах лише починають з'являтися. Схеми компенсації викидів вуглецевого газу на рівні міст також мало поширені і часто охоплюють території поза містами. Приміром, вуглецевий газ, що утворюється при спалюванні палива на електростанціях та в промисловості, уловлюється, стискається та втискається у підземні геологічні формації для безпечного та постійного зберігання. Ланцюжок цього процесу складається з трьох частин: уловлювання вуглецевого газу, транспортування вуглецевого газу та безпечне зберігання вуглецевого газу під землею, в виробітках шахт або в глибоких розсільних водоносних формаціях. В даний час більшість ініціатив щодо секвестрації вуглецю на міському рівні пов'язані зі схемами висадки дерев та відновленням чи збереженням стоків вуглецю.

Екологічний ризик секвестрації вуглецевого о газу пов'язують з довгостроковим зберіганням через можливість витоку газу, як поступово, так і катастрофічно, приміром внаслідок землетрусу, що може знищити початкові екологічні вигоди, пов'язані з уловлюванням та зберіганням викидів вуглецевого газу, і може шкідливо вплинути на здоров'я людини.

4.7. Оцінка ефективності впровадження міських ініціатив з пом'якшення клімату

Переваги заходів щодо пом'якшення наслідків не буде видно відразу, враховуючи тривалий час перебування парникових газів в атмосфері, проте згодом вони відчуватимуться в усьому світі. Локальні додаткові переваги пов'язані з покращенням якості повітря техногенно навантажених урбоекосистем проявляться набагато швидше.

Ефективність проєктів з пом'якшення зміни клімату в межах урбоекосистеми, як правило, вимірюється загальним обсягом скорочень викидів, пов'язаних із втручанням [39]. Особливо привабливими вважаються заходи зі зменшення викидів, які водночас забезпечують економічний розвиток. Їх іноді називають проєктами «без жалю», якщо скорочення викидів, отримане в рамках проєкту, є побічним продуктом ініціатив, котрі місто реалізувало б за відсутності зміни клімату. Багато проєктів з енергоефективності або покращення транспорту можна вважати «безсумнівними» в тому сенсі, що вони корисні для розвитку та забезпечують пом'якшення наслідків; таким чином, це або випадкові, або змішані проекти пом'якшення/розвитку. Оцінка ефективності, з точки зору скорочення викидів, для цих типів втручання є складною, оскільки часто важко встановити сценарій викидів, з яким можна порівняти рівні викидів після проєкту.

Однак очевидно, що систематичні зусилля щодо переходу від транспорту та енергетики на основі викопних видів палива до використання низьковуглецевих технологій матимуть набагато більший ефект для зниження викидів парникових газів, ніж маломасштабні короткострокові ініціативи щодо підвищення енергозбереження. Рішення про вжиття тих чи інших заходів щодо пом'якшення наслідків визначатимуться соціальними, політичними, економічними та екологічними обставинами окремих міст, де головним принципом буде важливість, яка надається питанням зміни клімату,

а не абсолютна оцінка їх ефективності. Найбільш успішні практики країн ЄС пом’якшення впливу зміни клімату в різних секторах техногенно навантаженої урбоекосистеми наведено в додатку А.

Питання для самоконтролю по розділу 4

1. Розкрийте сутність секвестрації вуглецю в межах техногенно навантаженої урбоекосистеми.
2. В чому полягають заходи з пом’якшення зміни клімату в транспортній системі?
3. В чому полягають заходи з пом’якшення зміни клімату в міській інфраструктурі?
4. Перспективи імплементації досвіду ЄС щодо використання енергоефективних будівель для пом’якшення змін клімату в Україні.
5. В чому полягають особливості планування території міст, направлені на пом’якшення зміни клімату. Наведіть приклади України та ЄС.

Розділ 5: Загальний методологічний підхід щодо адаптації до зміни клімату

5.1. Адаптація, її типи та форми
5.2. Стратегія з адаптації та її цикл
5.3. Основні принципи вибору стратегії адаптації
5.4. Заходи з адаптації та їх класифікація
5.5. Принципи розробки заходів адаптації урбоекосистеми до зміни клімату

Ключові слова: *адаптація, типи та форми адаптації, стратегія адаптації, заходи адаптації, цикл адаптації, принцип превентивності, принцип інтегрованого підходу.*

Адаптація до зміни клімату означає пристосування природних та антропогенних систем у відповідь на фактичний або очікуваний вплив клімату або його наслідки, яке дозволяє знизити шкоду та використовувати сприятливі умови для стійкого розвитку. Цей розділ буде присвячено методологічному підходу при розробці стратегії адаптації та впровадження її заходів.

5.1. Адаптація, її типи та форми

Адаптація є відносним терміном, адже передбачає зміну системи інтересів та діяльності до стресу пов'язаного з кліматом. Адаптація стосується екологічних, соціальних чи економічних змін урбоекосистеми у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні подразники та їх наслідки або впливи.

Підвищення адаптивної здатності являє собою практичні засоби подолання змін і невизначеності клімату, включаючи мінливість і крайні стани. Таким чином, посилення адаптаційних можливостей зменшує вразливість і сприяє сталому розвитку.

Опис адаптації та взаємозв'язки між її елементами наведено на рис. 5.1.

Адаптації мають величезну різноманітність форм. Типи адаптації, саме як відбувається адаптація, диференціюються відповідно до численних ознак. Зазвичай вживаними відмінностями є цілеспрямованість і строки, розрізняють також автономні та планові адаптації. **Автономна адаптація** – адаптація, яка не являє собою свідому реакцію на кліматичні впливи, але є результатом змін, спрямованих на задоволення потреб, що змінилися, реалізацію нових завдань і очікувань, які незважаючи на те, що вони спеціально не призначені для вирішення проблеми зміни клімату, проте можуть пом'якшити наслідки цієї зміни. **Планова адаптація** – адаптація, що є результатом обміркованих рішень і конкретно враховує зміну й мінливість клімату. В плановій адаптації відрізняють по факту – відносно зміни клімату, яка вже відбулася та випереджаючу, що здійснюється перед очевидним впливом.

Адаптації можуть виконувати різні функції і приймати різноманітні форми (табл. 5.1).

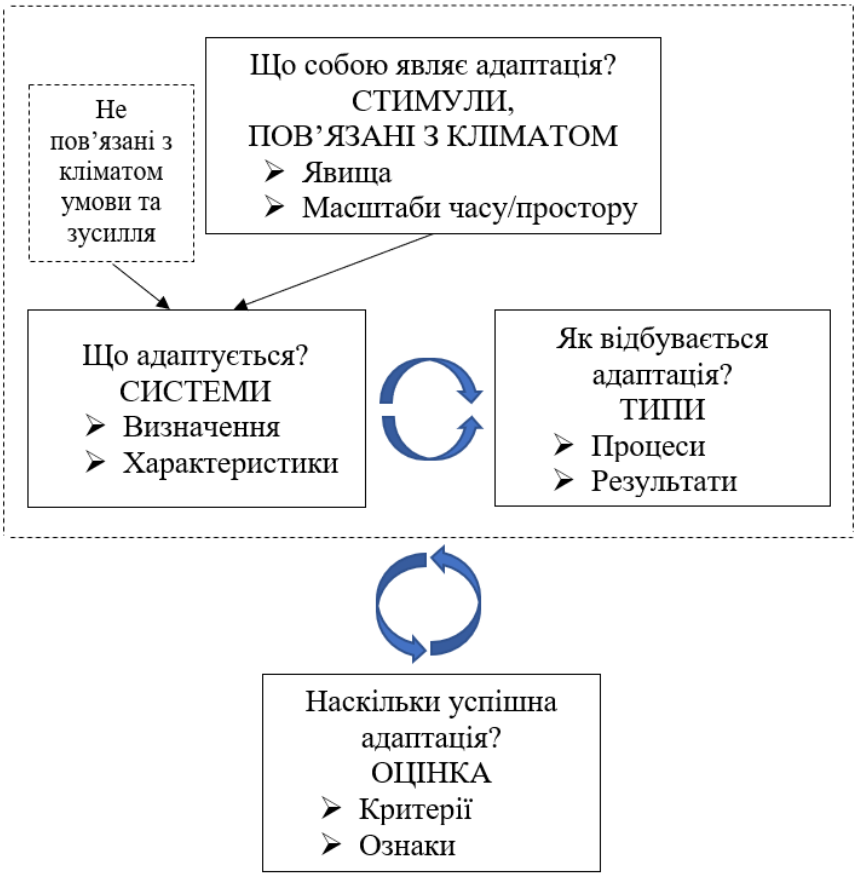

Рис. 5.1. Поняття адаптації [54]

Таблиця 5.1

Основні характеристики та диференціації адаптації до зміни клімату [54]

Ознака	Приклади використаних термінів
Цілеспрямованість	Автономна ↔ Планова Спонтанна ↔ Цілеспрямована Автоматична ↔ Примусова Природна ↔ Політична Пасивна ↔ Активна (Стратегічна)
Час	Випереджаюча ↔ По факту Проактивна ↔ Реактивна Ex ante ↔ Ex post
Тимчасовий обсяг	Короткострокова ↔ Довгострокова Тактична ↔ Стратегічна Миттєва ↔ Кумулятивна
Просторова сфера	Локалізована Поширена
Функція/Ефекти	Відступити – Пристосувати – Захистити Запобігати – Терпіти – Поширювати – Змінювати – Відновлювати
Форма	Структурна – Правова – Інституційна – Регуляторна – Фінансова – Технологічна
Продуктивність	Витрати – Ефективність – Впроваджуємість – Здійсненність – Справедливість

5.2. Стратегія з адаптації

Першим важливим кроком є **підготовка стратегії з адаптації** для конкретної урбоекосистеми. Даний документ має виходити з наступних аспектів:

1. Потенційна небезпека окремих впливів зміни клімату на дану місцевість (очікувані впливи зміни клімату, в т.ч. ризики, що спричиняються такими впливами, описані з точки зору кліматології).

2. Оцінка вразливості внаслідок таких впливів – тобто оцінка населення, території, інфраструктури та інших систем, що є чутливими до конкретних впливів, приміром, будинки, побудовані в зоні затоплення, більш ймовірно можуть бути затоплені, аніж будинки, побудовані на інших територіях; або люди старше 75 років більш чутливі до спеки, аніж люди інших вікових категорій).

3. Оцінка адаптаційних можливостей території – тобто наскільки швидкою та ефективною може бути реакція в разі настання певної події (паводку, теплових хвиль, штормових вітрів) або після того, як це сталося, як то готовність рятувальної, медичної служб, системи раннього попередження тощо; інформування населення, тощо.

4. На основі оцінки вразливості (чутливості та адаптаційних можливостей) певної території готується адаптаційна стратегія для зменшення вразливості або збільшення опору даної території впливам зміни клімату. Така стратегія має містити довго- та короткострокові цілі, а також конкретні адаптаційні заходи.

Розробка проєкту адаптації повинна здійснюватися таким чином, щоб він добре вписувався – незалежно від його масштабів – у процес планування національної стратегії стійкого розвитку. Його мета полягає в підготовці ефективного плану проєкту з тим, щоб стратегія та заходи щодо адаптації могли бути здійснені. Структура стратегії адаптації вкладається з наступних компонентів:

Компонент 1: Оцінка поточної вразливості включає пошук відповідей на такі питання: Якою є вразливість суспільства сьогодні до ризиків зміни клімату? Які фактори визначають вразливість суспільства? Наскільки успішні зусилля щодо адаптації до них? Оцінка майбутніх ризиків, пов’язаних зі зміною клімату, фокусується на розробці сценаріїв майбутнього клімату, вразливості та соціально-економічних та екологічних трендів, як підґрунтя для прогнозування майбутніх ризиків.

Компонент 2: Формулювання стратегії та розробка заходів з адаптації на сучасному рівні вразливості та враховуючи прогнозовані ризики зміни клімату, включає визначення та відбір варіантів політичних підходів та заходів щодо адаптації з послідуючим об’єднанням їх у єдину комплексну стратегію.

Компонент 3: Реалізація стратегії з адаптації та впровадження залучених заходів в конкретні умови передбачає комплексну їх дію та досягнення чітких результатів.

Рис. 5.2. Цикл адаптації до змін клімату

Компонент 4: Процес адаптації передбачає проведення моніторингу з метою оцінки, вдосконалення та підтримки ініціатив, розпочатих у рамках проекту адаптації.

В узагальненому вигляді процес адаптації полягає у створенні міцної основи для прийняття ефективних рішень в умовах зміни клімату як у короткий проміжок часу, так і довготривало (рис. 5.2). Дана схема є графічним відображенням процесу адаптації відповідно до режиму ООН в області зміни клімату, що включає в себе чотири ключові компоненти, кожен з яких окремо описаний нижче:

1. Оцінка впливу, факторів вразливості та ризиків. На цьому етапі проводиться первинна оцінка ступеня впливу зміни клімату на природні системи та суспільство.

2. Планування заходів з адаптації передбачає розробку необхідних заходів щодо адаптації та їх оцінки, включаючи вивчення необхідних витрат і потенційних переваг, що необхідно для вибору кращого із наявних варіантів. Проведення всебічного планування повинно запобігти дублюванню мір, їх неповну реалізацію, а також має сприяти стійкому розвитку.

3. Реалізація заходів з адаптації здійснюється на різних рівнях, у тому числі національному, регіональному та місцевому. При цьому використовуються різні засоби, такі як виконання проєктів, профільних програм або стратегій, де мова йде як про окремі заходи, так і про комплексні підходи, враховані в стратегічних рішеннях і планах по стійкому розвитку.

4. Проведення моніторингу та оцінки заходів з адаптації здійснюється впродовж усього процесу адаптації. Отримані при цьому знання, інформація та досвід можуть використовуватися для забезпечення успіху в адаптації в подальшому. В ході моніторингу ведеться спостереження за прогресом в здійсненні заходів, а оцінка забезпечує вивчення ефективності здійснюваних дій.

5.3. Основні принципи вибору стратегії адаптації

Основні принципи вибору стратегії адаптації полягають в наступному [7]:

1. Зміна клімату – процес, який характеризується низкою невизначеностей та ризиків, зокрема, щодо розмірів, часу та характеру змін, що, в свою чергу, потребує використання різних технологій, включаючи аналіз чутливості, аналіз ризиків, моделювання на основі розроблених сценаріїв.

2. Оскільки зміна клімату загрожує здоров’ю людей, необхідно застосувати **принцип превентивності** та здійснювати профілактичні заходи, навіть якщо ще не виявлено повністю причинно-наслідкових зав’язків між кліматичною зміною та виникненням хвороби. Відповідно до принципу превентивності, невизначеність шкоди, яка завдається, не повинна служити аргументом для затримки дій. За наявності значної невизначеності превентивний підхід може призвести навіть до більш жорстких вимог щодо скорочення викидів та/або адаптаційного реагування.

3. **Принцип інтегрованого підходу** слід застосовувати до будь-якої структури адаптаційної стратегії:

- адаптація до короткострокової мінливості клімату та екстремальних метеорологічних явищ є основою для зниження рівня вразливості при довгостроковій зміні клімату;
- стратегія та заходи адаптації оцінюються у контексті соціально-економічного розвитку;
- дотримуючись принципу сталого розвитку, стратегії та заходи адаптації повинні враховувати соціальні, економічні та екологічні інтереси та гарантувати задоволення потреб нинішнього покоління, не ставлячи під загрозу задоволення потреб майбутніх поколінь;
- політика/стратегії адаптації розробляються на різних рівнях суспільства, включаючи місцевий рівень.

4. Стійка міжгалузева співпраця за участю всіх зацікавлених осіб має стати попередньою умовою прийняття рішень, планування та реалізації планів з адаптації.

5. Багаторівнева інтеграція управління має бути застосована для врахування екологічних, економічних, політичних та соціокультурних умов відповідної урбоекосистеми.

6. Безпрограшний та майже безпрограшний варіанти повинні стати пріоритетними. Безпрограшними варіантами виступають заходи чи дії, які виявляються корисними, навіть за умов коли жодної подальшої зміни клімату не відбувається. До майже безпрограшних варіантів відносять низько-витратні заходи, які можуть потенційно принести значну вигоду при зміні клімату та вимагають невеликих витрат, якщо не відбуваються зміни клімату.

7. При виборі сценаріїв та заходів, пов’язаних з адаптацією до зміни клімату необхідно враховувати можливі побічні ефекти їх впровадження.

8. Оцінка витрат для запланованих заходів, яка є передумовою ранжирування заходів з адаптації та їх включення до бюджету або у більші програми адаптації, здійснюється шляхом аналізу витрат і вигід, багатокритеріального аналізу, аналізу рентабельності та експертної оцінки.

Паралельно має бути розглянута ціна бездіяльності, яка може призвести до низки певних екологічних та соціально-економічних наслідків. Слід зазначити, що принципи вибору стратегії адаптації не забезпечують інструкцій щодо методів її реалізації на практиці.

5.4. Заходи з адаптації та їх класифікація

Заходи з адаптації до зміни клімату являють собою сукупність дій спрямованих на пристосування системи до нових кліматичних умов. При розробці плану адаптації техногенно навантаженої урбоекосистеми можуть бути використані різноманітні заходи. Зазвичай їх класифікують за способом реалізації та за метою.

За способом реалізації заходи з адаптації поділяють на наступні групи:

- інженерно-технічні;
- будівельно-архітектурні;

- економічні;
- заходи організаційного характеру.

Класифікація заходів з адаптації за метою:

- заходи, спрямовані на формування адаптаційного потенціалу (дослідження впливу кліматичних змін, мапи заплав);
- заходи, спрямовані на зниження ризику та ступеня чутливості (нові сорти рослин, стійких до посухи);
- заходи, спрямовані на підвищення потенціалу для подолання наслідків надзвичайних подій (спеціальні бригади для розчищення доріг);
- заходи, спрямовані на отримання вигоди від змінених кліматичних умов (заощадження на опаленні).

Основні вимоги до заходів адаптації наведено нижче:

1. Запобігання, включаючи план дій та законодавство, а також усунення найгірших наслідків стихійних лих, таких, як посухи та повені.

2. Поліпшення стійкості або здатності до відновлення складових урбоекосистеми шляхом покращення водопостачання, озеленення, планування використання земель, тощо.

3. Підготовка до екстремальних погодних явищ через підвищення поінформованості, чесний розподіл ресурсів та спільне керування.

4. Зваженість дії під час екстремальних погодних умов явищ, включаючи заходи з евакуації, екстрену медичну допомогу, розподіл безпечної питної води, керування небезпечними речовинами, інституційний розвиток, підготовку персоналу та поширення інформації.

5. Підготовленість до відновлення та реабілітації, включаючи реконструкцію, законодавство, збір та поширення інформації.

6. Фінансування стратегій адаптації із забезпеченням їх економічної обґрунтованості, ефективності та стійкості.

7. Оцінювання стратегій адаптації для ідентифікації перешкод до їх впровадження, з обов'язковим встановленням чітких результатів та економічної ефективності.

5.5. Принципи розробки заходів адаптації урбоекосистеми до зміни клімату

Серед основних принципів розробки заходів з адаптації техногенно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату слід виділити наступні [29]:

1. Адаптація до зміни клімату в місті зумовлює комплексний підхід та злагоджене виконання різнопланових заходів на всіх рівнях.

2. Спостереження за окремими негативними наслідками зміни клімату, слід включити до системи моніторингу, насамперед для раннього сповіщення населення та ефективного управління ризиком на рівні міста. Приміром, в Парижі після прояву дуже інтенсивних хвиль тепла 2003 та 2006 рр. було впроваджено систему сповіщення про спекотну погоду, і тим самим суттєво знижено екологічну небезпеку для мешканців міста внаслідок вразливості до теплового стресу.

3. Для органів місцевого самоврядування одним із важливих організаційних завдань при розробці заходів з адаптації міста виступає проведення потужної інформаційної кампанії щодо екологізації самосвідомості населення і формування його поведінки спрямованої на зменшення утворення парникових газів.

4. За умов, коли проблема кліматичної зміни постає досить гостро, будь-яке питання розбудови урбоекосистеми, як то планування забудови нових районів, розвитку транспортної інфраструктури, тощо має вирішуватися з урахуванням можливих сценаріїв та прогнозованих змін навколишнього середовища.

5. В межах урбоекосистеми доцільно використовувати «подвійного девіденду» – технології боротьби з кліматичними змінами, які поряд з екологічними, мають на меті досягнення певних – економічних цілей. Приміром, технології «подвійного дивіденду» лягли в основу антикризового плану США, прийнятого Б. Обамою в лютому 2009 р., а саме перший блок заходів цього плану «Створення робочих місць з використанням чистої, ефективної американської енергетики» передбачав досягнення конкретних соціально-економічних цілей при вирішенні проблеми навколишнього середовища.

6. При формуванні загальноміського плану адаптації техногеннно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату, слід звернути увагу, на багатоцільові заходи, які спрямовані на послаблення відразу кількох негативних наслідків, приміром озеленення.

Питання по розділу 5

1. Розкрийте сутність поняття «адаптація».
2. В чому полягають відмінності в плановій та автономній адаптації.
3. Розкрийте сутність стратегії з адаптації на прикладі конкретної урбоекосистеми.
4. Яким чином відбувається процес адаптації до зміни клімату техногенно навантаженої урбоекосистеми?
5. На яких принципах ґрунтується вибір стратегії адаптації?

Розділ 6: Адаптація до зміни клімату при розбудові техногенно навантаженої урбоекосистеми

6.1. Стратегічне планування заходів адаптації до зміни клімату на рівні міст

6.2. Заходи з адаптації у сфері охорони здоров'я

6.3. Заходи адаптації в будівництві

6.4. Адаптація міст за допомогою озеленення

Ключові слова: *заходи з адаптації урбоекосистем, охорона здоровя, озеленення, будівництво, інфекційні захворювання, теплова ізоляція будівель, зелений дах, деревні рослини.*

Адаптація передбачає розробку і впровадження заходів на рівні міста, які дозволяють пристосуватися до зміни клімату і забезпечити дотримання екологічної безпеки для населення. План дій з адаптації до наслідків зміни клімату техногенно навантаженої урбоекосистеми розробляється з метою встановлення найбільш вразливих секторів на рівні міста до основних негативних наслідків зміни клімату; розробки концептуальних та конкретних практичних адаптаційних заходів відносно цих секторів, що надасть можливість об'єднати зусилля громади, екологічних організацій, місцевої влади, бізнесу та експертного середовища з подальшим спрямуванням їх на подолання проблем і упередження загроз, пов'язаних зі зміною клімату, забезпечення стійкого розвитку за умов дотримання норм екологічної безпеки і створення більш комфортних умов життєдіяльності населення (Додаток Б).

6.1. Стратегічне планування заходів адаптації до зміни клімату на рівні міст

Країни ЄС приділяють багато уваги стратегічному плануванню та надають допомогу країнам кандидатам в члени (табл. 6.1).

Стратегічне планування на рівні міст відбувається шляхом прийняття стратегій розвитку та низки інших спеціальних стратегій, програм, планів дій, які носять комплексний характер і охоплюють всі важливі елементи [32]. Заходи, які запроваджуються в урбоекосистемах для адаптації до зміни клімату, стосуються наступних сфер:

- забезпеченість водними ресурсами та належною якістю води населення міста;
- розвиток зелених зон та створення зеленого каркасу міста;
- озеленення породами деревно-чагарникової рослинності, які найкраще адаптовані до місцевих ґрунтово-кліматичних умов з урахуванням напрямку зміни клімату;
- створення «блакитних» зон у місті та облаштування з прив'язкою до них місць рекреації;
- використання кліматичного потенціалу для розвитку сонячної енергетики, як альтернативного джерела енергії;

- інтеграція кліматичної складової в простір міста;
- врахування кліматичних особливостей під час планування або перепланування житлових і промислових зон міста з можливим винесенням промислових зон з сельбищної забудови;
- розвиток інфраструктури, яка протистоятиме зміні клімату;
- інтегрування транспорної системи у план протидії зміні клімату в місті.

Важливим елементом стратегічного планування заходів у сфері адаптації до зміни клімату в межах урбоекосистеми є плани дій сталого енергетичного розвитку та клімату, що являють собою комплекс стратегічних заходів щодо вдосконалення усіх сфер і галузей міста з врахуванням можливих джерел і механізмів їх фінансування, а також впливу на зменшення викидів парникових газів, наслідків зміни клімату та адаптації. Згідно Угоди мерів, міста добровільно беруть на себе зобов'язання щодо адаптації до змін клімату. Означені плани можуть розроблятися і затверджуються не тільки для великих міст, приміром обласних центрів, а й для районних центрів, маленьких містечок та навіть об'єднаних територіальних громад. В контексті адаптації до зміни клімату плани містять три основних елементи: оцінку вразливості, визначення вразливих сфер/галузей та рекомендації щодо адаптації міста до зміни клімату. В теперішній час використовують різні методологічні підходи для оцінки вразливості і встановлюють вразливі сектори в місті, вже для яких розробляють заходи з адаптації.

Таблиця 6.1.

Дії Стратегії адаптації країн-членів ЄС до зміни клімату [40]

Номер дії	Сутність дії
Сприяння діям держав-членів	
Дія 1	Заохотити всі держави-члени прийняти комплексні стратегії адаптації
Дія 2	Забезпечити фінансування програми LIFE для підтримки розбудови потенціалу та активізації дій з адаптації в Європі
Дія 3	Запровадити адаптацію в рамках Угоди мерів
Більш поінформоване ухвалення рішень	
Дія 4	Подолати прогалину в знаннях про небезпеку зміни клімату
Дія 5	Подальший розвиток Climate-ADAPT як «єдиного вікна» для інформації про адаптацію в Європі
Кліматичні дії ЄС: сприяння адаптації в ключових вразливих секторах	
Дія 6	Сприяти кліматичному захисту спільної сільськогосподарської політики, Згуртованості політики та спільної рибальської політики
Дія 7	Забезпечення більш стійкої інфраструктури
Дія 8	Сприяти страхуванню та іншим фінансовим продуктам для стійких інвестицій та ділові рішення

6.2. Заходи з адаптації у сфері охорони здоров'я

Підвищення рівня обізнаності та готовності до поширення нових захворювань. Цей захід направлений на підвищення готовності суспільства до нових викликів в сфері охорони здоров'я людей (рис. 6.1, Додаток Б). В умовах міст-мільйонників, головна мета полягає в забезпеченні своєчасного виявлення і реагування на нові, не типові для даної місцевості, види захворювань, як то сказ, лихоманка Західного Нилу, бореліоз, лептоспіроз, туляремія, тим самим уникаючи розповсюдження епідемій та покращуючи умови захисту громадського здоров'я. В основному з даним заходом пов'язана робота спеціалізованих органів державної адміністрації (установи охорони здоров'я населення, міністерство охорони здоров'я, міністерство сільського господарства, державні ветеринарні та продовольчі установи тощо). Органи самоврядування повинні активно співпрацювати з цими органами. Не зайвим буде також проведення загальних освітніх заходів щодо небезпеки інфекційних захворювань для підвищення обізнаності населення.

Рис. 6.1. Вплив зміни клімату на здоров'я населення

Заходи з адаптації в галузі охорони здоров'я включають, зокрема, наступне [1, 8, 53]:

- вдосконалення механізмів епіднагляду, особливо за трансмісивними захворюваннями, що залежать від клімату;

- безперебійне забезпечення життєво необхідними лікарськими засобами та надання необхідних послуг медико-санітарної допомоги у надзвичайних ситуаціях;
- посилення готовності, планування заходів у відповідь на періоди аномальної спеки та інші надзвичайні явища;
- забезпечення координації між сектором охорони здоров'я та іншими секторами в ході діяльності з урахуванням змін клімату, захворюваності та географічного розповсюдження хвороб.

6.3. Заходи адаптації в будівництві

Достатня теплова ізоляція будівель. Покращена ізоляція будівель запобігає втратам тепла з будівлі та проникненню холоду ззовні в зимовий період, а в літній, навпаки, допомагає тримати прохолоду всередині будинку, зменшуючи вплив спеки на інтер'єр споруди. Зазначений захід з адаптації покращує якість внутрішнього середовища будинку і зменшує витрати на охолодження кондиціонуванням повітря.

Захист від випромінювання для прозорих елементів будівель – вікон, веранд, скляних стін та стель. Прозорі елементи будівлі – вікна, балконні двері, зимові сади, прозорі фасади потребують захисту шляхом встановлення пергол, навісів, зовнішніх надбудов, віконниць, жалюзі, штор, які являють прості, але важливі й ефективні елементи для підтримки оптимальної температури всередині будівлі.

З точки зору охолодження будівлі, внутрішнє затінення вікон за допомогою жалюзі, штор та гардин менш ефективне, ніж зовнішній захист, оскільки сонячна радіація блокується лише всередині приміщення, де частина спеки вже була абсорбована. Світловідбиваючі плівки та покриття, які накладаються безпосередньо на скло, можуть відбивати більше 85% сонячного випромінювання. Проте такі плівки блокують сонячне випромінювання цілий рік і тому вони є невигідними для вікон, що виходять на південь та/або у будинках з малою енергоефективністю, їх слід використовувати тільки для вікон, що виходять на схід і на захід, або для офісних будівель [1, 8, 53].

Раціональне використання кондиціонерів повітря. Кондиціонери можуть зменшити температуру будинку під час «хвиль тепла». Проте їх активне використання ініціює цілу низку проблем, а саме: шкідливий вплив на здоров'я людини через сухе запилене повітря; додаткове споживання енергії, що, призводить до збільшення парникових газів. Даний захід спрямований на забезпечення такого використання систем кондиціонування повітря в будівлях, яке б мінімально підвищувало споживання енергії та продукування парникових газів, що можливо за умов комплексного підходу через поєднання охолодження без застосування енергії як то затінення, використання зелених рослин, з роботою кондиціонерів тільки в будівлях з найбільш уразливими групами населення – хворі та літні люди, діти у віці до 4 років, люди з серцево-судинними захворюваннями, захворюваннями органів дихання, люди, що знаходяться на лікуванні.

Використання світлих кольорів та відбиваючих поверхонь на будівлях. Покрівельні та фасадні поверхні, які поглинають тепло протягом дня, випромінюють його в навколишнє середовище протягом ночі, тому повітря техногенно навантаженої системи не має достатньо часу для охолодження. Вирішити проблему може використання відбиваючої поверхні на даху та фасадах. Поверхні фасадів світлих кольорів здатні відбивати випромінювання краще, ніж темних відтінків. Серед екологічних вигід зазначеного заходу з адаптації слід виділити наступні:

- зменшення перегріву покрівель та фасадів;
- коливання температури вдень і вночі;
- використання кондиціонерів і пов'язані з цим витрати.

Фарбування дахів білою або дуже світлою фарбою можна замінити на встановлення на дахах спеціальних покриттів з такими фізичними властивостями, які забезпечують високий рівень відбиття сонячного випромінювання.

Використання зелених дахів та вертикальне озеленення стін. Охолоджуючий ефект зелених дахів та вертикального озеленення стін будинку пов'язують з випаровуванням води, затіненням від рослинності, здатністю відбивати сонячне випромінювання, споживанням термічної енергії для фотосинтезу і накопиченням нерозподіленої води. Зелені дахи та озеленені стіни зазвичай знижують температуру в будинку на декілька градусів Цельсія.

Крім того, охолоджуючий ефект від озеленення дахів та стін значно збільшує якість роботи систем кондиціювання повітря або взагалі дозволяє відмовитись від їх використання.

Площа забудови, що постійно збільшується, ставить техногенно навантажені урбоекосистеми перед проблемою утилізації великих обсягів води. Каналізаційна система не витримує, опади більше не можуть йти в землю і збираються з водонепроникних поверхонь (як дороги, паркування, дахи) у великі обсяги. При цьому навантаження на системи каналізації та відведення води збільшується в рази! Урбоекосистема може розростатися, але вже влаштована система каналізації має обмежену пропускну здатністю. Зазначену проблему добре усуває створення зелених дахів на будинках нових житлових кварталів.

Зелений дах та вертикальне озеленення є свого роду температурним буфером, що покращує показники витрати енергії на опалення взимку та охолодження влітку (рис. 5.2). Зелені дахи та вертикальне озеленення роблять свій внесок у термоізоляцію будівлі. Вартість озеленення безпосередньо залежить від клімату, складу та кількості субстрату, підбору рослин для зеленого даху – висоти покрівельного пирога, а для стін – від кріплення рослин, тому й економічний ефект буде індивідуальним.

Здійснити заходи з озеленення даху досить складно, але екологічна доцільність переважає, адже, це призводить до того, що суттєво пом'якшується мікроклімат, усувається проблема «островів тепла». Наведено деякі переваги зелених дахів:

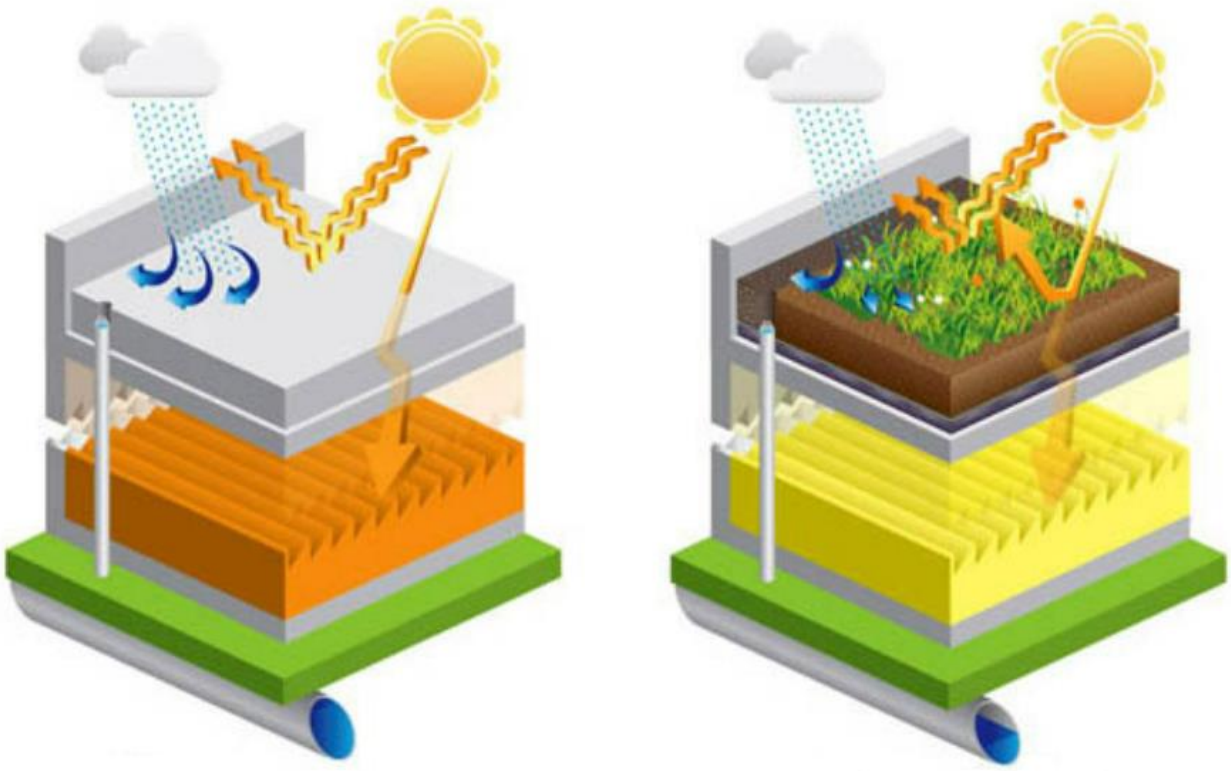

Рис. 5.2. Особливості роботи зеленого даху порівняно до традиційного покриття [19]

- подвійна користь – влітку прохолодно, взимку тепло (багатошаровість не дозволяє йти теплу і не дає сильно нагрівати покрівлю);
- великий шар зеленої покрівлі підвищує звукоізоляцію;
- рослини на покрівлі виробляють більше кисню, забирають надлишок вологи опадав;
- зелені дахи радуватимуть господарів набагато довше, ніж звичайні, вони стійкі до перепадів температури, ультрафіолетового випромінювання, головне – правильна конструкція «шарованого пирога»;
- декоративний вигляд цих дахів привабливий не тільки для людей, він також приваблює на територію птахів, метеликів, бджіл.

6.4. Адаптація міст за допомогою озеленення

За допомогою рослинного покриву можна досить суттєво змінити мікроклімат урбоекосистем, особливо охолодження території в спекотний період. Слід зазначити, що різні площі рослинності зумовлюють охолоджуючий ефект різної інтенсивності, в залежності від щільності покриття та видового складу рослин, а також частки в ньому деревних рослин. Спостерігається наступна тенденція, чим більше площа озеленення та частка в ній дерев, тим вищим буде ефект охолодження. Заходи з озеленення щодо адаптації до зміни клімату, зазвичай, спрямовані на збільшення площі міських зелених зон (парки, сквери, ботанічні сади), створення зелених зон на прибудинкових територіях житлової забудови, стоянках автомобілів та зелених розділових смуг на дорогах.

При здійсненні вибору основних видів деревно-чагарникової рослинності, які будуть посаджені в міських зонах, враховують очікуване підвищення температури та ґрунтово-кліматичні та антропогенні умови паралельно з наданням переваги серед обраних посухостійким видам. Слід уникати посадки деяких інвазійних рослин, поширенню яких сприяє підвищення середньорічної та сезонних температур. Екологічна толерантність посаджених видів повинна бути достатньо широкою, приміром як у берези, тополі або осики, що дасть змогу задовольнити як поточні, так і майбутні кліматичні умови. Цього можна також досягти шляхом висаджуючи континентальні породи, як то дуб, граб, клен, липа і ясен.

При озелененні техногенно навантажених урбоекосистем для адаптації до змін клімату потрібно вибирати такі рослини, які найкраще здатні вирішити поставлені завдання. Наприклад, якщо необхідно озеленити вулицю, забудовану багатоповерховими будинками і при цьому захистити фасади від сонця, краще використовувати високі дерева – березу, липу, клен гостролистий, сосну. Якщо ж потрібно створити тінь на тротуарах, достатньо висадити низькі або середні рослини – черемху, горобину, клен татарський. При цьому потрібно зважати на те, що вік та висота дерев і чагарників тих самих порід у різних умовах може сильно відрізнятися. В природних умовах дерева живуть зазвичай удвічі довше чим в умовах інтенсивного забруднення міських територій. Навіть в умовах паркових зон, де техногенне навантаження нижче, липи досягають 31 м висоти, а на вулицях міста – лише до 10 м.

При виборі рослин для озеленення потрібно зважати на форму крони, особливо у дерев, адже вона дуже важлива при створенні чітких композицій – обсадження площ, вулиць, громадських будівель тощо. Деякі кущі та дерева відрізняються геометричною формою крони, а деякі вимагають її формування. Добре піддаються стрижці ялиця, обліпиха, ялина звичайна, шипшина, горобина, липа, туя. В поєднанні вони можуть утворювати досить цікаві композиції.

Ще один важливий фактор вибору – щільність крони. Дерева та чагарники із щільною кроною найбільш ефективно захищають від сонячних променів, вітру та снігу, тож для озеленення з метою зменшення температури в міському середовищі слід вибирати саме їх. Рослини з прозорою кроною збільшують гру світла та тіні та використовуються у складних композиціях як доповнення до перших. Малопрозора крона притаманна ялиці, черемхі, в’язу, липі, дубу, каштану. Прозора крона – у груші, осики, сливи, акації, абрикоса.

Вибір трав та квітів для озеленення техногенно навантажених урбоекосистем з метою адаптації до змін клімату також має підкорятися ґрунтово-кліматичним та антропогенним умовам. Ефектний декор міста поряд із зниженням температури протягом усього літа забезпечують клумби з алісуму, що швидко з’являються і рясно квітнуть, а також петунії, матіоли, люпину.

Запропоновано визначати ефективність фітомеліоративної системи, як заходу щодо адаптації до змін клімату урбанізованого середовища наступним чином:

- за відношенням кількості поглинених забруднюючих речовин до загальної кількості тих що надійшли за певний час (у випадку фільтруючої функції по механізму опору зовнішнім впливам);
- за відношенням кількості виділених рослинами за певний час у певному обсязі речовин з меліоративними властивостями, приміром фітонцидів, до кількості цих же речовин в деякий вихідний момент часу в тому ж обсязі до початку роботи фітомеліоративної системи (у випадку роботи системи за принципом посилення);
- відношення кількості виділеної рослинами речовини в певному обсязі за певний час до кількості цієї речовини в тому ж обсязі, спожитої людиною за той же період часу, стосується насамперед кисню (у випадку дії компенсуючої фітомеліоративної системи).

Питання для самоконтролю по розділу 6

1. Обґрунтуйте вибір рослин для конкретної техногенно навантаженої урбоекосистеми.
2. Розкрийте сутність екологічної небезпеки зміни клімату на здоров’я населення міст.
3. В чому полягають перспективи використання досвіду ЄС при адаптації до зміни клімату в сфері будівництва?
4. Наведіть переваги використання зеленого даху і вертикального озеленення будівель для адаптації до зміни клімату.
5. На прикладі конкретної урбоекосистеми розкрийте сутність заходів зі стратегічного планування для адаптації до зміни клімату.

Розділ 7: Адаптація до зміни клімату при функціонуванні техногенно навантаженої урбоекосистеми (системи життєзабезпечення)

7.1. Заходи адаптації транспорту
7.2. Заходи з адаптації в енергетичній сфері
7.3. Заходи з адаптації у сфері використання водних ресурсів

Ключові слова: *заходи з адаптації систем життєзабезпечення, заходи адаптації транспорту, система раннього попередження, оновлення норм дорожнього руху, заходи з адаптації в енергетичній сфері, заходи з адаптації у сфері використання водних ресурсів.*

Розробка заходів з адаптації до зміни клімату для систем життєзабезпечення міста має не менш важливе значення чим для його розбудови, адже їх порушення або нестабільна робота призведе до загрози життю мешканців, приміром порушення системи водозабезпечення сприятиме більш активному розповсюдженню інфекційних хвороб (Додаток Б). В розділі приділено увагу заходам з адаптації до змін клімату найбільш уразливих систем, як то транспорт, енергетика, водопостачання та водовідведення.

7.1. Заходи адаптації транспорту

Система раннього попередження. Під час ураганів, що супроводжуються сильним вітром, падаючі предмети, приміром опори ліній електропередач або дерева, можуть призвести до пошкодження майна і здоров'я людей через падіння. Водночас сильний вітер може підвищити вірогідність дорожньо-транспортних пригод, знищити тролейбусні, трамвайні лінії, тощо.

Зазначений захід з адаптації передбачає забезпечення своєчасного надання інформації та попереджень щодо настання катастрофічного стихійного явища транспортним перевізникам, а саме, залізничним компаніям, автобусним компаніям, користувачам транспортних засобів та іншим учасникам дорожнього руху. Цей захід входить до числа ефективних і відносно дорогих, проте надає можливість підготуватися до несприятливих погодних умов і мінімізувати ризики. Витрати на створення інформаційної системи, що складається з декількох складових, та інформаційні технології становлять приблизно від 100,000 € і більше [53]. З іншого боку, цей захід підвищує безпеку на дорогах а також економить витрати, які можуть виникнути внаслідок ДТП.

Оновлення норм дорожнього руху. Насьогодні немає діючих норм, які були б в змозі відповісти на поточні потреби, пов'язані зі зміною клімату в Україні. Тому необхідно почати процес оновлення дорожньої інфраструктури з врахуванням більш частого виникнення стихійних явищ, пов'язаних із змінами клімату. Слід встановити керівні нормативні принципи для спеціалістів із планування та інженерів дорожнього руху, які на основі

ініціатив місцевої влади могли б включати вплив зміни клімату до пропозицій нових інфраструктурних рішень дорожнього руху.

Використання транспортних технологій та матеріалів, адаптованих до зміни температур. Оскільки транспортні об'єкти довше знаходяться під впливом «хвиль тепла», вони можуть втрачати якість та зношуватися. Таким чином, при придбанні інфраструктурної транспортної продукції, такої як рейки, кабелі, поверхневі матеріали тощо, слід обирати ті, що є більш стійкими до високих температур, «хвиль тепла» та інших впливів, зумовлених зміною кліматичних умов. Незважаючи на те, що така продукція може збільшувати будівельні витрати в разі створення нових структур в порівнянні з нинішніми витратами на будівництво транспортної інфраструктури, застосування зазначеного заходу забезпечує:

- збільшення терміну служби;
- зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт в разі пошкоджень;
- більш високий рівень опору стихійним лихам.

Створення сприятливого мікроклімату для пішоходів та велосипедистів у містах. Пішоходи та велосипедисти є єдиними учасниками дорожнього руху, які стикаються з усіма зовнішніми впливами навколишнього середовища і, насамперед погодними, в рамках відкритого простору.

За допомогою незначного коригування конструкцій того ж покриття пішохідних зон і висадці рослинності можна пом'якшити теплові впливи, приміром шляхом посадки деревної рослинності з більш широкими верхівками дерев уздовж тротуарів та велосипедних доріжок.

Перспективною також вважається тенденція створення алеї обрамленої деревами, які зростаються своїми кронами і створюють тінь в цій алеї. Недостатньо затінене асфальтно-дорожнє покриття дороги потребує більш високих витрат на технічне обслуговування, оскільки їх слід ремонтувати через кожні 10 років експлуатації, в той час як затінені дороги потребують ремонту лише раз на 20-25 років.

7.2. Заходи з адаптації в енергетичній сфері

Пріоритетне використання технологій, які в умовах підвищення температур демонструють вищу ефективність та надійність у сфері виробництва енергії. У випадку виробництва електроенергії з використанням викопного палива зростання температури призводить і продовжуватиме призводити до зниження рівня ефективності теплоелектростанцій, а це, в свою чергу, може спричинити дефіцит виробництва енергії. Іншим впливом високих температур стане зменшення розподілу потужності в мережі, особливо у випадку електричних станцій та кабелів, що притаманно техногенно навантаженим урбоекосистемам. Більш високі температури в поєднанні з більш високим споживанням енергії в літні сезони потребують технічного удосконалення трансформаторних станцій і кабелів таким чином, щоб забезпечити їх безперебійну роботу навіть у часи найбільшого попиту.

Різні технології виробництва енергії мають різні рівні витривалості і стійкості до високих температур, тому важливо брати це до уваги при їх виборі. Більш високі температури призводять до зниження рівня ефективності, приміром, фотоелементів на цілих 9 % при температурі 35 ^{0}C і вище. Нижчий рівень ефективності і, таким чином, менше виробництво енергії слід враховувати при прогнозуванні доходів від продажу електроенергії або при забезпеченні власного споживання. Більш високі витрати, пов'язані з придбанням фотоелементів з більш високою ефективністю або рівнем стабільності, є частиною початкових капіталовкладень.

Достатнє охолодження. Достатній рівень охолодження має важливе значення для забезпечення роботи традиційних паро-енергетичних установок з використанням викопного палива, а також атомних електростанцій. Теплові електростанції працюють в різних кліматичних умовах, але ефективність більшості з них залежить від температури зовнішнього повітря. Підвищена температура повітря впливає на його щільність, знижуючи швидкість його потоку під час процесу спалювання, що вважається однією з основних технологічних проблем. Відповідно, зростання вимог щодо охолодження, особливо сухого охолодження, вимагає високовартісних відновлювальних робіт. Прогнозне коливання опадів (менше опадів у літній період в поєднанні з більш високими температурами) буде впливати на запаси води і матеріалів, а це призведе до більш високих інвестицій в системи охолодження [1, 8, 53].

Розміщення нових ресурсів з урахуванням підвищення робочих температур та зменшення наявності води. Проблема робочих температур і наявності води в процесі виробництва електроенергії може бути частково усунена шляхом врахування цього критерію під час планування і розміщення нових джерел енергії в більш відповідних місцях для упередження вищезазначеної проблеми. Однак це залишається за межами компетенції органів самоврядування міста, якщо ці органи не є прямими акціонерами електроенергетичної компанії, оскільки планування і виробництво електроенергії на великих електростанціях перебуває в межах компетенції інвестора.

Розробка або вдосконалення систем охолодження трансформаторних станцій. Цей захід з адаптації стосується створення рефлекторних екранів як на існуючих, так і на новозбудованих об'єктах, а також висуває концепцію розміщення нових об'єктів на більш прохолодних територіях, що може бути досягнуто або шляхом їх спорудження поряд з водотоками, за умови забезпечення протипаводкового захисту, або їх розміщенням в периферійних районах урбоекосистем, за межами так званих «островів тепла».

7.3. Заходи з адаптації у сфері використання водних ресурсів

Більш суворі заходи захисту водних ресурсів. Стосовно прогнозованих сценаріїв зміни клімату, які передбачають більш часті періоди посухи, слід забезпечити більш сувору охорону водних джерел, адже вона буде найбільше сприяти зниженню ризику їх забруднення і зменшить подальшу

необхідність виведення з використання. Означений захід також допоможе раціоналізувати використання водних джерел.

Якщо зміни клімату матимуть негативний вплив на обсяг води, то місцеві джерела можна розглядати як значні додаткові або навіть єдині джерела водних ресурсів для невеликих урбоекосистем. До того ж їх експлуатація може бути менш вимогливою з точки зору споживання енергії, ніж управління централізованими джерелами. Витрати, пов'язані з переходом на використання місцевого джерела води, завжди повинні розраховуватися в кожному окремому випадку з врахуванням параметрів альтернативного джерела, приміром, відстані до великомасштабних джерел водопостачання). Слід врахувати потужність локального джерела, витрати, пов'язані з розвитком цього джерела, і прогнозовані збитки, пов'язані з його охороною.

Стале управління системами водозабезпечення. В умовах очікуваного зниження потужності водних джерел в результаті зміни клімату, слід перевірити балансні якості водних джерел з тим, щоб не відбувалося їх надмірного використання, руйнування або навіть знищення.

У пунктах відводу поверхневих та підземних вод слід забезпечити контрольований відвід води для того, щоб не перевищити рівень екологічно оптимальних витрат на частині водотоку нижче за течією у відповідному басейні. Найбільша частина витрат, пов'язаних з цим заходом, стосується підготовки практичної методології визначення рівня екологічно оптимальних витрат для окремих водотоків, що досить складно здійснити, особливо у зв'язку з мінливим кількісним режимом джерел води.

Ще однією проблемою, яка може збільшити непрямі витрати, пов'язані з реалізацією даного заходу, є необхідність пошуку альтернативних або додаткових джерел води через екологічні витрати, тобто з метою зниження відводу води з існуючого джерела [1, 8, 53]. Визначення рівня екологічно оптимальних витрат в межах очікуваного постійного зменшення обсягів води у водоймах є відносно складним завданням, і його вирішення залежить від визначення референтного періоду, що зумовлюється експертними висновками, а також лобіюванням.

Основною причиною раціоналізації водокористування в Європі є зростання ціни на воду. На думку деяких експертів, рівень використання води наближається до так званого санітарного мінімуму. Чим менше води забирається з природних ландшафтів для життєдіяльності техногенно навантажених міст, тим більше води залишиться для природних екосистем, водотоків, водно-болотних угідь. Крім того, менші обсяги води, що потребує обробки і очищення, призводять до більшої економії енергії.

Будівництво каналізаційних очисних споруд для приватних домогосподарств у малих муніципалітетах.

У невеликих містах, де будівництво масштабної системи очисних та каналізаційних споруд не є обґрунтованим, місцева влада має підтримувати будівництво каналізаційних очисних споруд з невеликими джерелами забруднення, для приватних домогосподарств, невеликих магазинів, котеджів і житлових будинків.

Очищення стічних вод відбувається саморегуляторно в одному баку на біологічній або механіко-біологічній основі, і його рівень ККД складає близько 90-98%. Окупність каналізаційних очисних споруд для приватних домогосподарств складає 2 роки, що є досить ефективним. Витрати електроенергії на їх утримання складають від 50 до 70 Вт, тобто 1,2 кВт/день, або приблизно 438 кВт/рік.

Питання для самоконтролю по розділу 7

1. Які конкретно заходи з адаптації системи транспорту до зміни клімату доцільно запровадити у Вашому місті?
2. Назвіть які заходи досвіду ЄС можуть бути застосовані в енергетичній сфері для її адаптації до зміни клімату?
3. В чому полягає сутність сталого управлення систем водозабезпечення міст. Перспективи впровадження досвіду ЄС в Україні.
4. Позитивні і негативні аспекти переходу на локальні джерела водозабезпечення.
5. На прикладі конкретної урбоекосистеми наведіть технології, які слід використати для адаптації транспортної системи до зміни клімату.

Розділ 8: Кліматична політика

8.1. Міжнародні та внутрішні документи кліматичної політики України

8.2. Політика кліматичної стійкості в Україні

8.3. Сценарії досягнення кліматичної стійкості в Україні

Ключові слова: *Паризька угода, Стратегія низьковуглецевого розвитку, Угода мерів, Європейський зелений курс, кліматично нейтральні громади, кліматична свідомість, архітектура кліматичного врядування, амбітний (оптимістичний) сценарій, мінімальний (негативний) сценарій, поміркований (найбільш реалістичний) сценарій.*

Прагнення кліматичної нейтральності, стимулювання зелених інвестицій до секторів економіки, розвиток чистих технологій промислового виробництва, зелених товарів та сервісів, а також створення вже зараз кліматично нейтрального континенту, інноваційних та сталих ланцюгів цінностей для майбутніх поколінь неможливо без чіткої кліматичної політики на рівні держави.

Важливим світовим політичним гравцем та ініціатором регулювання кліматичної ситуації в світі виступає ЄС, для якого кліматична політика є пріоритетною, високо інтегрованою в європейську стратегію. Щодо кліматичної політики, країни-члени ЄС мають потужну громадську підтримку та запроваджують інтенсивну міжнародну діяльність. Виступаючи лідером в переговорному процесі, ЄС розвиває цілісний підхід до кліматичної політики, ставлячи нам меті, за рахунок свого домінуючого становища, забезпечення серйозного підходу до вирішення екологічних проблем.

8.1. Міжнародні та внутрішні документи кліматичної політики України

Кліматична політика України визначається наступними міжнародними та внутрішніми документами:

- Паризькою угодою;
- Стратегією низьковуглецевого розвитку України до 2050 року;
- Угодою мерів;
- Європейським зеленим курсом.

Паризька угода, або як її інакше називають «план дій для порятунку Планети» – це головний міжнародний документ, який закликає всі країни світу об’єднатися у боротьбі з кліматичною кризою. У 2015 році Україна разом із 194-а країнами світу підписала Паризьку угоду. Згідно цього документу Україна зобов’язується зменшити негативний вплив на зміну клімату планети, не допустити підняття середньої глобальної температури вище за 1,5-2,0 ^{0}C від доіндустріального рівня. Розвинені країни з потужною економікою мають підтримувати менш успішні на шляху до скорочення викидів та адаптації до наслідків кліматичної зміни. Кожна країна зобов’язана знизити свої парникові викиди до рівня показника 1990 року через Національно визначені внески (рис.

8.1). Однак, внаслідок падіння української економіки, досягнення викидів 1990 року буде означати фактично їх збільшення, тому у 2021 році було прийнято оновлений національно визначений внесок та затверджено нові цілі України щодо кліматичної політики. Оновлений національно визначений внесок передбачає зменшення викидів парникових газів на 65 % до рівня 1990 року або на 7 % до рівня 2019 року, що має бути досягнуто до 2030 року. Зменшення викидів парникових газів за секторами економіки зумовлюють конкретні дії (рис. 8.2).

Рис. 8.1. Послідовність амбіцій Паризької кліматичної угоди [11]
Примітка: НВВ – національно визначений внесок.

Окрім Національно визначених внесків Паризька угода зобов'язувала країни розробити **Стратегію низьковуглецевого розвитку**, згідно якої Україна бере на себе відповідальність за перехід економіки країни на низьковуглецевий розвиток для скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів. Слід зазначити, що показники Стратегії не носять юридично зобов'язуючий характер, мають переглядатись кожні 5 років, враховувати національні обставини та можливості. Україна була восьмою країною, яка подала таку стратегію до секретаріату Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату.

Угоду мерів щодо клімату і енергії слід визнати найбільшим у світі рухом за збереження клімату на рівні місцевого самоврядування від європейської ініціативи. Ця угода об'єднує 11 000 місцевих і регіональних органів влади у 55 країнах, які добровільно взяли на себе зобов'язання по досягненню кліматичних цілей ЄС.

Рис. 8.2. Шляхи скорочення парникових газів за секторами економіки

Слід зважати на визначальну роль місцевих органів влади у пом'якшенні наслідків зміни клімату, адже близько 80% енергії країн споживаються саме містами. За підтримки світової спільноти та національного уряду місцеві органи влади повинні сприяти зміні екологічної поведінки населення на містах, ефективно вирішувати проблеми, пов'язані зі зміною клімату і споживанням енергії через узгодження державних та приватних інтересів, а також при встановленні взаємозв'язку між проблемами сталого розвитку і загальними місцевими цілями. Приєднання до Угоди мерів надає можливість місцевим органам влади забезпечити своїх громадян екологічно, соціально і економічно стабільним середовищем життєдіяльності в умовах техногенного навантаження на урбоекосистеми шляхом впровадження заходів, направлених на зменшення викидів CO_2 локально на своїх територіях. Угода мерів гарантує отримання підтримки, визнання і передового досвіду від європейських країн і міжнародної спільноти.

Національними координаторами Угоди Мерів в Україні виступає Міністерство розвитку громад та територій України та Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України.

Будь-які місцеві органи влади – від малих сіл до великих міст і столиць – мають право стати Підписантами Угоди мерів.

Підписанти, які приєдналися до Угоди мерів до жовтня 2016 року, взяли на себе наступні зобов'язання, а саме:

- скоротити викиди CO_2 щонайменше на 20% до 2020 року;
- знизити кількість викидів CO_2 (і, можливо, інших парникових газів) на 30% до 2030 року шляхом підвищення енергоефективності та більш активного використання відновлюваних джерел енергії;
- підвищити стійкість своїх територій техногенно навантажених урбоекосистем шляхом розробки і впровадження заходів з адаптації до наслідків зміни клімату.

Угода мерів передбачає для підписантів наступні дії:

- підготовку **Базового кадастру викидів**, розробку й прийняття місцевої екологічної політики щодо сталого розвитку;
- створення належної адміністративної структури, включаючи виділення достатньої кількості людей для реалізації екологічної політики шляхом здійснення необхідних дій;
- представлення **Плану дій зі сталого енергетичного розвитку** з конкретними результатами щодо зменшення викидів CO_2 щонайменше на 20% протягом року з моменту офіційного приєднання до ініціативи Угоди мерів;
- кожні два роки після подання Плану дій зі сталого розвитку подавати **Звіт про реалізацію** для його оцінки, контролю і перевірки.

Успішна реалізація угоди мерів передбачає обмін досвідом і ноу-хау з іншими місцевими органами влади; організацію заходів з метою підвищення обізнаності населення урбоекосистем щодо питання сталого розвитку, кліматичної політики і раціонального використання енергії; поширювати мету

Угоди та заохочувати інших мерів приєднатися до неї. За діяльністю мерів-підписантів здійснюється контроль.

Європейський зелений курс (European Green Deal) є дорожньою картою заходів, завдяки якій планується перетворення економіки ЄС на ефективну, стійку та конкурентоспроможну, а Європи – на перший у світі кліматично нейтральний континент, що має відбутися в строк до 2050 року. Європейський зелений курс передбачає наступні напрями: чисту енергію, кліматичну дію, будівництво та реновацію, стійку промисловість, стійку мобільність, зменшення забруднення довкілля, біорозмаїття, стійку аграрну політику. Як кандидат на членство в ЄС, Україна наслідує пріоритети Зеленого курсу та дотримується кліматичної політики.

8.2. Політика кліматичної стійкості в Україні

Угода про асоціацію Україна – ЄС також позначилась на кліматичній політиці Україні. Протягом останніх років зроблено значні кроки на шляху створення нормативної бази для запровадження системи торгівлі викидами; розробки галузевих програм щодо покращення стану повітря, промислового забруднення та аварій; стратегій включення інвестицій в інфраструктуру й технології; розвиток стратегії у галузі навколишнього середовища; залучення природоохоронної політики в інші сфери; тощо.

Таблиця 8.1

Зобов'язання України щодо транспонування директив, нормативів та процедур Європейського Союзу [25]

Назва документу ЄС	Зобов'язання України	Термін виконання
Директива № 2003/87/ЄС про встановлення схеми торгівлі викидами парникових газів у рамках Співтовариства та внесення змін і доповнень до Директиви № 96/61/ЄС із змінами і доповненнями, внесеними Директивою № 2004/101/ЄС	- прийняття національного законодавства та визначення уповноваженого органу (органів); – встановлення системи визначення відповідних споруд/установок та визначення парникових газів; – розроблення національного плану розподілу квот між заводами /комплексами; – запровадження дозвільної системи на викиди парникових газів та на квоти, що продаватимуться на національному рівні між заводами/промисловими комплексами в Україні; – створення системи моніторингу, звітності, здійснення перевірок і належного впровадження, а також процедури консультацій з громадськістю.	протягом 2 років з дати набрання чинності Угодою

Слід зазначити, що країни-члени ЄС розпочали екологізацію державної політики та економіки значно раніше та суттєво випереджають Україну за екологічними показниками, якістю довкілля та, відповідно, ефективністю екологічної політики та впровадженням принципів належного екологічного врядування. Належне екологічне врядування, як новий, горизонтальніший спосіб правління порівняно з традиційним, ієрархічним, державо-централізованим способом державного управління, передбачає інтеграцію екологічних вимог до усіх сфер життєдіяльності країни. Належне екологічне врядування ґрунтується на наступних принципах:

- прозорість/відкритість;
- участь;
- підзвітність;
- ефективність;
- узгодженість політики.

Вирішальний вплив на формування кліматичної політики України протягом останнього десятиліття здійснив процес підготовки вступу до асоціації ЄС. Україна зобов'язалась транспортувати ряд Директив що стосуються зміни клімату з чітким визначенням термінів (табл. 8.1).

8.3. Сценарії досягнення кліматичної стійкості в Україні

Плани досягнення кліматичної стійкості в Україні здебільшого віддзеркалюють аналогічні, передбачені Європейським зеленим курсом для країн ЄС, за виключенням системності щодо залучення усіх зацікавлених сторін і, насамперед, населення (табл. 8.2). Основна проблема полягає у відсутності кореляції між планами уряду та конкретними практичними діями в ключових сферах (зокрема в енергетиці) щодо скорочення викидів парникових газів.

В контексті зміни клімату, як окремого тематичного елементу Європейського зеленого курсу, Ресурсно-аналітичним центром «Суспільство і довкілля», зважаючи на реалії України, було запропоновано наступні флагманські ініціативи щодо досягнення кліматичної стійкості:

Кліматично нейтральні громади формуються шляхом створення умов для трансформації окремих невеличких урбоекосистем України в кліматично нейтральні через, насамперед, амбітні програми енергоефективності, і повну модернізацію енергетичних систем, впровадження засад циркулярної економіки.

Кліматична свідомість громадян України спрямована на їх залучення до спільної кліматичної політики в Європі через участь у Європейському кліматичному пакті. Формування свідомої відповідальності неможливе без підвищення обізнаності громадян щодо зміни клімату, її причин та наслідків, що, в свою чергу, буде впливати на зміну поведінкових звичок громадян, які дотичні до зміни клімату.

Архітектура кліматичного врядування має сприяти розвитку кліматичної політики України, впроваджувати механізми, які вже успішно працюють в ЄС з подальшим їх об'єднанням та забезпечувати реалізацію

кліматичних цілей, які насамперед спрямовані на скорочення вуглецевого сліду в економіці країни.

Таблиця 8.2

Порівняльний аналіз ключових дій щодо зміни клімату [10]

Ключові зміни у передбачені Європейським зеленим курсом	Відповідні зміни, заплановані в Україні
Досягнення кліматичної нейтральності ЄС до 2050 року, шляхом залучення громадян та усіх зацікавлених сторін	Скорочення викидів парникових газів; досягнення кліматичної нейтральності до 2060 року
Суттєве зменшення вуглецевої інтенсивності економіки ЄС (декарбонізація економіки)	Підвищення рівня декарбонізації національної економіки
Забезпечення ефективної системи вуглецевого ціноутворення у всіх секторах економіки	Удосконалення системи оподаткування викидів парникових газів, впровадження національної системи торгівлі викидами парникових газів
Прийняття нової амбіційної стратегії з адаптації до зміни клімату	Прийняття Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату
Забезпечення глобального лідерства ЄС з питань зміни клімату	Прийняття обґрунтованого другого національно визначеного внеску

В теперішній час запропоновано три можливі сценарії досягнення кліматичної стійкості в Україні [5], котрі базуються на дійсних міжнародних та внутрішніх документах, а також враховують ті пропозиції, які винесені на обговорення, але ще, нажаль, не ухвалені офіційно.

Згідно **амбітного (оптимістичного) сценарію**, завдяки системності, яка досягається на всіх рівнях, передбачається інтеграція екологічної складової до всіх програм і політик, відбувається синхронізація екологічної політики з кліматичною, на перший план виходить здоров'я і благополуччя людей та успішне впровадження запланованих для цього заходів під ретельним наглядом громадянського суспільства. За цим сценарієм економічний розвиток не залежить від збільшення використання природних ресурсів та енергії та не сприяє підвищенню рівня забруднення навколишнього природного середовища, навпаки, планується суттєво зменшити обсяги використання викопних видів палива, зокрема вугілля, та скоротити кількість викидів парникових газів. Завдяки впровадженню сталого низьковуглецевого розвитку всіх галузей економіки, передбачається досягнення 100% кліматичної нейтральності до 2050 року, як і в країнах ЄС. Основним компонентом секторальних політик виступає адаптація до зміни клімату та зменшення ризику стихійних явищ при чому особлива увага приділяється вразливим до клімату техногенно навантаженим урбоекосистемам. Згідно прийнятої політики визначається повний перехід на циркулярну економіку,

промисловість застосовує сталу модель інклюзивного зростання, що має на меті сприяти декарбонізації енергоінтенсивних секторів за рахунок запровадження виробництва чистого водню та збільшення обсягів виробництва альтернативної енергії з відновлюваних джерел.

При **мінімальному (негативному) сценарію** амбітні плани не підтримуються на рівні уряду держави, суспільство не вважає екологічну політику пріоритетною, екологічне врядування не змінюється по своїй суті, обмежуючись лише змінами персоналій та перекидання відомств з одного міністерства до іншого. Галузеві стратегії та програми секторів економіки розвиваються несинхронно, і є відокремленими від екологічних та кліматичних вимог. Економічний розвиток і надалі залежить від збільшення використання природних ресурсів та енергії, зокрема, викопних видів палива. Сталий низьковуглецевий розвиток та кліматична нейтральність не є пріоритетом, секторальні політики не приділяють увагу адаптації до зміни клімату та зменшення ризику стихійних явищ, в наслідок чого вразливі до зміни клімату техногенно навантажені урбоекосистеми відчувають катастрофічну нестачу води, забрудненість повітря та навалу відходів. Україна поступається позиціями на ринку ЄС, уряд залишає своє населення в умовах негативних впливів на здоров'я і необізнаності щодо можливостей змінити ситуацію на краще.

Поміркований (найбільш реалістичний) сценарій передбачає, що амбітні плани впровадження Європейського зеленого курсу в Україні розтягуються в часі. Принципи належного екологічного врядування будуть впроваджуватися фрагментовано і досить повільно відбуватиметься процес реорганізації управління галузями, що, в свою чергу, буде позначатися на ефективності. Спочатку інтеграція екологічної складової до політик та/або програм лобіюється на різних рівнях, але поступово вона окреслюється і стає прийнятною на рівні уряду, який сприяє перегляду та затвердженню національного плану дій, конкретних заходів, політик, програм, відповідно до Угоди про Асоціацію з ЄС. Циркулярна економіка впроваджується спочатку на рівні окремих підприємств, але потроху поширюється внаслідок успішного та економічно вигідного прикладу господарювання, що призводить до зменшення обсягу утворення відходів і збільшення обсягу їх переробки та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництв, поступово відбувається перехід на енергію з відновлюваних джерел. Основною рушійною силою позитивних перетворень виступає фінансова допомога від ЄС, міжнародних фінансових інституцій та цільових програм. Національні фінансові механізми працюють здебільшого під зовнішнім впливом. При регулюванні фінансових послуг бюджетом країни не враховуються екологічні, соціальні й управлінські ризики. Підприємства, в своєму прагненні до конкурентоспроможності, запроваджують адаптаційні заходи до зміни клімату, надаючи приклад іншим та рухаючи поступово прогресивні методи господарювання. Україна поступається деякими позиціями на ринку ЄС.

Найбільш вірогідним варіантом досягнення кліматичної стійкості в Україні є поміркований сценарій [5], проте й він швидко може стати негативним, якщо не буде впроваджуватися план інституційної та фінансової реформи у сфері охорони довкілля.

Питання для самоконтролю по розділу 8

1. На прикладі конкретної техногенно навантаженої урбоекосистеми покажіть які вигоди отримає місто за умов підписання Угоди Мерів.
2. Який із сценаріїв кліматичної стійкості найбільш вірогіднісний для України? Обґрунтуйте свою думку.
3. Якими міжнародними документами керується Україна при здійсненні кліматичної політики?
4. В чом полягає сутність архітектури кліматичного врядування для стійкості техногенно навантаженої урбоекосистеми?

ПРАКТИКУМ

Практичні роботи з дисципліни «Адаптація ЄС до зміни клімату та стійкі урбоекосистеми» спрямовані на ґрунтовне усвідомлення одержаних теоретичних знань, набуття навичків їх застосування безпосередньо у професійній діяльності при вирішенні екологічних проблем, пов'язаних зі зміною клімату техногенно навантажених урбоекосистем. Головним завданням практикуму є подолання розриву між теоретичною підготовкою і практичною діяльністю, посилення міждисциплінарних зв'язків, формування пізнавальної активності у майбутнього фахівця, адже саме стикаючись з конкретними проблемами зміни клімату у містах, теоретичні знання будуть зазнавати корекції й адаптації, визначатиметься їх можливість застосування в наявних антропогенних умовах. Впровадження Зеленої Угоди в Україні потребує не тільки активного використання широкого набору інструментів, а й нового екологічного мислення, зміни психології, екологізації всіх сфер діяльності людини для стійкого розвитку техногенно навантажених урбоекосистем. При проходженні практичного курсу студентам буде надана можливість застосування набутих знань у реальних ситуаціях з використанням кейс-технологій.

Практичне заняття № 1
Тема: Визначення посушливості клімату урбоекосистем за стандартизованим індексом опадів

Зміни клімату стосуються не тільки температури, значної уваги потребує моніторинг за атмосферними опадами, адже очікується, що в деяких частинах світу річний рівень опадів у довгостроковій перспективі знизиться, а посушливість зросте.

У сукупності зміна показників температури та кількості атмосферних опадів сприяє виникненню цілої низки негативних явищ, так Всесвітньою метеорологічною організацією встановлено, що за останні два десятиліття кліматичні зміни призвели до різкого збільшення кількості посух та повеней у всьому світі на 30 та 134 % відповідно. Нинішнє потепління планети на 1,0-1,5 ^{0}С сприяє підвищенню вмісту водяної пари в атмосфері, при цьому вологість може збільшуватись до 7%, що, в свою чергу, сприяє повеням. В деяких випадках річна кількість опадів може залишитися майже незмінною, але випадати вони будуть з великими інтервалами, у вигляді сильних і короткочасних злив, які чергуватимуться із тривалими посухами. Посуха постає загрозою самому існуванню людини і фахівці вважають, що вона нерозривно пов'язана з потрійною планетарною кризою зміни клімату, втрати біорізноманіття та природного середовища, а також стосується проблеми забруднення та накопичення відходів. Для прибережних територій значно зростає небезпека підвищення інтенсивності сильних штормів та їх різновиду – ураганів. Потенційні наслідки зміни клімату носять досить різноманітний характер та можуть бути значними за масштабом, однак всі вони зменшують

Рис. 1.1. Схема розвитку посухи

річне економічне зростання на 1-2 відсоткові пункти з розрахунку на душу населення, крім того очікується, що в міру нагрівання планети ці явища стануть більш поширеними та серйознішими, тому адаптація до них постає першочерговим глобальним завданням для стійкого розвитку техногенно навантажених урбанізованих територій у всьому світі.

Посуха являє собою комплексне явище, насамперед, пов'язане з вологістю ґрунту, що, в стою чергу, виступає результатом дисбалансу кількості опадів, випаровування та стоку (рис. 1.1). Відповідно до прогнозів зміни клімату з підвищенням температури повітря та тривалості посушливих періодів, у майбутньому міста можуть відчувати серйозний дефіцит води, що призведе до суттєвого погіршення умов життєдіяльності людини, комфортності урбанізованого середовища, а це, в свою чергу, може обмежити сталий розвиток.

Метеорологічна посуха настає за умов, коли річна кількість опадів менша, ніж багаторічна середньорічна кількість опадів. Якщо метеорологічна посуха триває довгий час, вона породжує **гідрологічну посуху**, характерну скороченням руслового стоку та запасів підземних вод. **Соціо-економічна посуха** супроводжується тривалим періодом метеорологічної та/або гідрологічної посухи, що впливає на людські життя і викликає голод та інтенсивну міграцію [21].

Явище посухи складно піддається опису за допомогою тільки одного метеорологічного параметра, яким зазвичай виступає кількість опадів (річна або за вегетаційний період). Тому при оцінюванні посухи перевагу віддають використанню комплексних показників чи індексів, здатних виявити як саме явище, так і його інтенсивність.

Світовою метеорологічною організацією для таких цілей рекомендовано використовувати стандартизований індекс опадів (SPI), який був запропонований T.B. McKee (1993) та базується на використанні тимчасових рядів місячних сум опадів [52]. Тимчасові ряди опадів для розрахунку SPI повинні бути досить довгими, щонайменше 30 років. На відміну від індексу Пальмера (Palmer drought severity index (PDSI)) [31], що ґрунтується на балансі приходу та витрат води і рекомендований для однорідних за топографією ділянках, SPI виявляє настання посухи значно раніше.

Процедура розрахунку SPI включає перетворення часових рядів опадів із застосуванням гамарозподілу, а потім нормування отриманих ймовірностей на стандартизований індекс опадів:

$$SPI = \left(\frac{X_i - \bar{\bar{x}}}{\sigma}\right) \quad (1.1)$$

Де X_i – дані досліджуваного часового ряду опадів, x – середнє значення опадів притаманне для даного часового ряду, а σ – стандартне відхилення часового ряду опадів.

Показник SPI може визначатись для різних інтервалів часу, а саме:

1) SPI1 – для розрахунку використовуються дані опадів тільки за один місяць, отже тимчасовий розподіл SPI1 буде мати схожість із середьомісячним розподілом опадів;

2) SPI3 – для розрахунку використовуються дані опадів за три місяці (поточний та два попередні), показує короткострокові та середньострокові умови зволоженості та забезпечує сезонну оцінку опадів;

3) SPI12 та вище – визначає загальні умови зволоженості протягом року та використовуються для виділення тривалих сухих та вологих періодів, які характерні для опису гідрологічних посух [50].

Метеорологічна посуха визначається як період з аномальним дефіцитом опадів у відношенні до середніх багаторічних умов для регіону.

Посухи класифікують за декількома показниками:

1) за кількістю опадів, що випали за місяць:

- сильні, коли сума опадів за місяць менша за 50% норми (у середньому за багаторічними даними);
- середні, коли сума опадів протягом місяця становить 50-75 % норми;
- слабкі, коли сума опадів протягом місяця перевищує 75 % норми, але менше ніж 100% норми;

2) за тривалістю бездощового періоду:

- сильна посуха, якщо тривалість бездощового періоду становить більше ніж 40 днів за вегетаційний період;
- середня, якщо тривалість бездощового періоду становить 20-40 днів;
- слабка, якщо тривалість бездощового періоду менше 20 днів, але більше ніж 10 днів;

3) за сезоном року з врахуванням небезпеки для рослинності:

- ранньовесняна посуха – від початку і до кінця травня;
- весняно-літня – зазвичай від третьої декади травня до кінця червня;
- пізня літня – спостерігається в липні;
- осіння – припадає на вересень і жовтень;
- стійка (повна) посуха – спостерігається протягом вегетаційного періоду рослинності урбоекосистем, характеризується рідкісними дощами.

Таблиця 1.1

Нормування значення SPI

Межі SPI	Характеристика кліматичних умов за наявністю опадів
$2,0 < SPI \leq MAX$	Надзвичайно вологі
$1,5 < SPI \leq 2,0$	Дуже вологі
$1,0 < SPI \leq 1,5$	Середньо вологі
$-1,0 < SPI \leq 1,0$	Нормальні
$-1,5 < SPI \leq -1,0$	Середньо посушливі
$-2,0 < SPI \leq -1,5$	Дуже посушливі
$MIN < SPI \leq -2,0$	Надзвичайно посушливі

Індикатор SPI показує аномалії (відхилення від середнього значення) спостережуваної загальної кількості опадів для будь-якого даного місця та періоду накопичення даних. Величина відхилення від середнього є імовірнісною мірою тяжкості перезволоження або посухи.

Для будь-якого конкретного регіону зростаючий дефіцит опадів (тобто метеорологічні посухи) визначається наскільки значення SPI постає нижче за -1,0, у той час як надлишок опадів діагностується при SPI вище за 1,0 (табл. 1.1). Оскільки значення SPI вказані в стандартних одиницях відхилення від багаторічного середнього, показник можна використовувати для порівняння аномалій опадів для будь-якого географічного розташування та для будь-якої кількості часових масштабів.

Практичне заняття № 2
Тема: Визначення посушливості клімату урбоекосистем за гідротермічним коефіцієнтом Селянінова

Основними показниками клімату є кількість атмосферних опадів та температура повітря, отже саме їх сукупну дію доцільно використовувати при наданні характеристики його змін у містах. Водний та тепловий режими є визначальними у формуванні зелених зон техногенно навантажених урбоекосистем, проте слід пам’ятати, що кожен кліматичний фактор, як то температура або кількість опадів, змінюється за своїми законами, що призводить до непередбачуваності чергового вегетаційного періоду та складності у його теоретичному обґрунтуванні особливо у містах, де формуються, внаслідок гарячих викидів промислових підприємств в атмосферу, «острови тепла». Чинником, від якого залежить розвиток зелених зон міста, виступає вологість ґрунту та умови зволоження рослин у різні періоди вегетації, що зумовлюється не тільки кількістю опадів, а й температурним режимом. Згідно закону взаємодії екологічних факторів, сукупний вплив вище зазначених основних складових клімату визначають реальні умови, які можуть бути як сприятливими, так і несприятливими для росту й розвитку рослин. Для цього використовують показник, який характеризує поєднання водного та теплового режимів, а саме – гідротермічний коефіцієнт зволоження Селянінова (ГТК) або гідротермічний коефіцієнт. Спочатку його використовували для загальної оцінки клімату з виділенням зон різного рівня вологозабезпеченості.

ГТК дорівнює відношенню кількості опадів, виражених у мм за період з температурами атмосферного повітря вище +10 ^{0}С до суми активних температур за той же період.

Слід зазначити, що абсолютна річна кількість опадів ще не свідчить про достатню кількість вологи для рослин, адже її значна частка випаровується, а величина випаровування залежить від температури. Середня річна кількість опадів на території України зменшується від 650 – 550 мм на півночі до 450 – 350 мм на Чорноморсько-Азовському узбережжі та у північному Криму від 750 – 700 мм на заході і до 500 – 450 мм на сході.

Сума активних температур виступає показником, який характеризує кількість тепла і виражається сумою середніх добових температур повітря вище за +10 ^{0}C, що є необхідним біологічним мінімумом для розвитку рослин. Цей показник визначають шляхом усереднення добових температур, а саме, якщо температури за добу складають вище +10°C, то їх додають до подібних значень у наступні дні. Таким чином отримують значення сума активних температур.

Сума активних температур вище +10 ^{0}C змінюється зонально – від 500-700 ^{0}C у тундрі до 5000-6000 ^{0}C у тропічному кліматі, що зумовлено надходженням сонячної радіації в різних широтах. В Україні сума активних температур становить від 2400 ^{0}C – на півночі до 3400 ^{0}C – на півдні. Проте навколо крупних міст, за умов формування «островів тепла» температура атмосферного повітря зазвичай вище на 5-7 ^{0}C, а іноді навіть до 10 ^{0}C, що зміщує межі вегетаційного періоду, коли рослини спочатку інтенсивно розвиваються, а потів їм не хватає вологи, внаслідок збільшення посушливості.

ГТК розраховують за формулою (2.1):

$$\text{ГТК} = \frac{\sum R}{0{,}1 \cdot \sum t_{\text{акт}} > 10} \quad \text{або} \quad \text{ГТК} = \frac{\sum R \cdot 10}{\sum t_{\text{акт}} > 10} \qquad (2.1)$$

Де Σ R – кількість опадів у мм за період з температурами, вище +10 ^{0}C (активні температури)

$\Sigma t_{акт} > 10$ – сума активних температур за той же час, зменшена у 10 разів.

Нормування ГТК:

ГТК < 0,4 – дуже сильно посушливо;

ГТК від 0,4 до 0,5 – сильно посушливо;

ГТК від 0,6 до 0,7 – середньо посушливо;

ГТК від 0,8 до 0,9 – слабко посушливо;

ГТК від 1,0 до 1,5 – достатньо волого;

ГТК > 1,5 – надмірно волого.

Практичне заняття № 3
Тема: Побудова клімадіаграми техногенно навантажених урбоекосистем

Взаємозв'язок між температурою та кількістю опадів при зміні клімату техногенно навантажених урбоекосистем графічно описують клімадіаграми, побудовані за способом Вальтера-Госсена.

Клімадіаграма – це інтегральне візуальне відображення (графік) кліматичних умов за показниками температури та атмосферних опадів на певній території в їх середньобагаторічному сезонному перебігу.

Клімадіаграма являє собою графік у прямокутній системі координат із двома вертикальними шкалами по вісі ординат, при цьому температурна шкала завжди розташовується ліворуч, а шкала опадів – праворуч, й однією горизонтальною шкалою часу – по вісі абсцис – яка відображає хід середніх

місячних значень температури й опадів протягом року за багаторічними даними спостережень [24]. Кожному одиничному відрізку на вісі абсцис відповідає місяць року. За умов коли клімадіаграма складається для метеостанції, розташованій у північній півкулі, шкала часу починається з січня, а для метеостанції в південній півкулі – з липня. Астрономічне літо має бути завжди усередині шкали часу, тобто досягається однаковість у відображенні подібних кліматичних умов, чим досягається можливість порівняння кліматів. При побудові клімадіаграми слід зважати на наступні правила (рис. 3.1):

1. Довжина одиничного відрізка на шкалі часу (вісь абсцис у прямокутній системі координат) повинна бути у 2 рази меншою, ніж довжина одиничного відрізка на шкалах температури й опадів (вісь ординат) (рис. 3.1).

2. Значення температур (10 ^{0}C, 20 ^{0}C, 30 ^{0}C …) та кількості опадів (20, 40, 60, 80, 100 мм …) на шкалу температури та опадів не наносяться, а лише відмічаються відповідними поділками. Місяці на шкалі часу також не позначаються, а лише відмічаються поділками їх межі, тому що місяць – це не точка на шкалі часу, а відрізок (рис. 3.1). Це потрібно для того, щоб не переобтяжувати графік цифрами та подробицями, і клімадіаграма не втрачала своєї наочності.

3. За умов коли крива опадів проходить вище кривої температур (достатньо вологий клімат), площа, яка міститься між цими кривими, заповнюється безперервною вертикальною штриховкою з кроком ~1-2 мм (рис. 3.1). В іншому випадку – крива опадів заходиться нижче температурної кривої (посушливий клімат), площа, яка міститься між цими кривими, заповнюється крапками з кроком 2 мм.

4. Якщо значення опадів становить більш ніж 100 мм на місяць, тобто коли крива проходить вище асимптоти P=100 мм, то воно відкладається у мірилі 1:10. Отже, після поділки 100 мм наступною поділкою буде не 120 мм, а 200 мм тощо. Площа між кривою опадів й відсіченим відрізком асимптоти P=100 мм заливається чорним кольором. Таким чином, чорний колір характеризує перезволожену пору року з місячною сумою опадів вище 100 мм.

5. Графічне відображення посушливого періоду за Ґоссеном може застосовуватися лише для характеристики умов, в яких кількість опадів у відповідну пору року різко зменшується, приміром для тропічного, субтропічного сухого, тощо. У помірному кліматі з досить рівномірним розподілом опадів упродовж року і літнім їх максимумом, який припадає на травень, червень і серпень, цей метод утрачає свою наочність. У таких випадках слід розрізняти посушливий й напівпосушливий періоди, останній можна відобразити графічно. Для цього, щоб підкреслити значення випарування за рахунок вітрів, приймають співвідношення між температурою й опадами 1:3. Мірило для температур залишається таким самим, але одна поділка на шкалі опадів відповідатиме вже 30 мм. В цьому випадку криву опадів відображають відрізком переривчастої лінії, вона розташовується дещо нижче, ніж крива опадів у співвідношенні 1:2. Площа між переривчатою кривою та кривою температур над нею відображає тривалість за горизонталлю

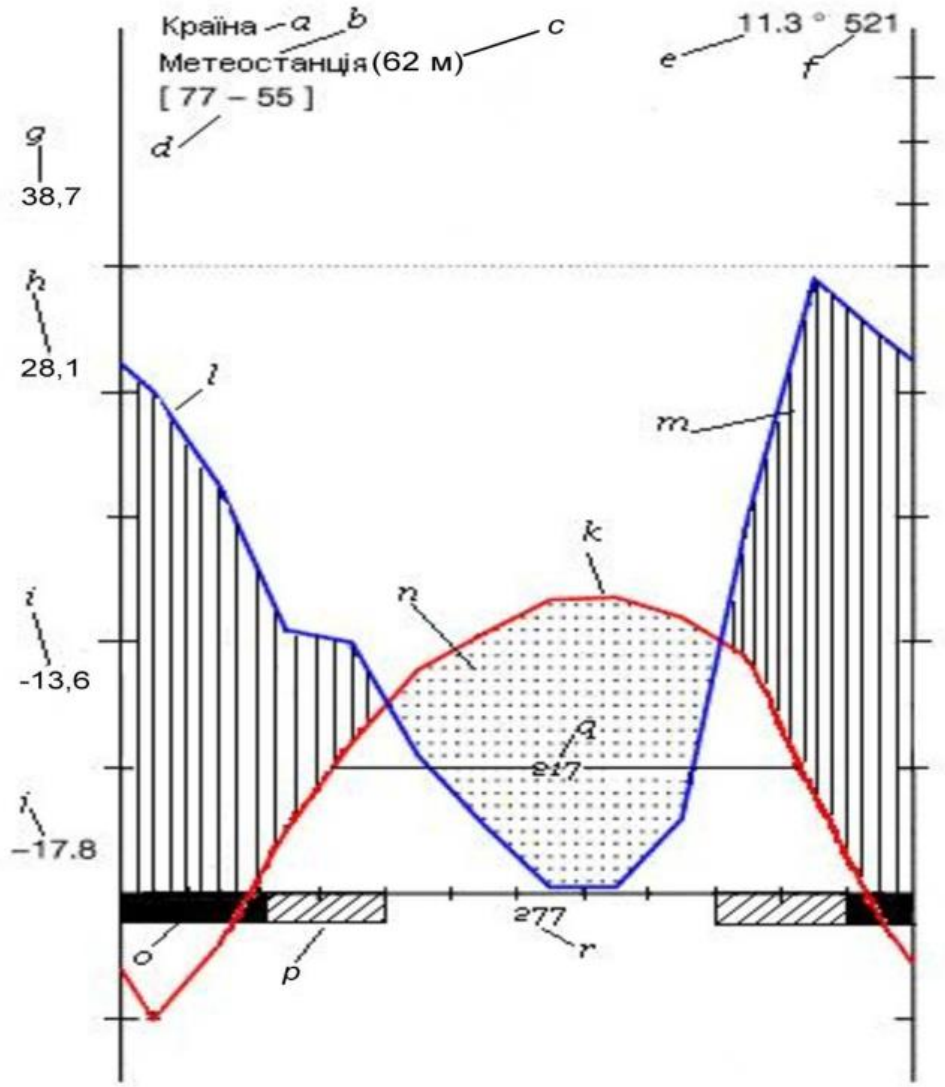

Рис. 3.1. Клімадіаграма [24]. Клімат помірний арідний (у легенді місяці позначені відповідними римськими цифрами)

a – назва країни;
b – назва метеостанції (сюди також можна додати географічні координати станції);
c – висота розташування метеостанції над рівнем моря, м;
d – кількість років спостережень за режимом температури (перша цифра) та опадів (друга);
e – середня річна температура;
f – середня річна сума опадів;
g – абсолютний максимум температур;
h – середній добовий максимум температури найтеплішого місяця;
i – середній добовий мінімум температури найхолоднішого місяця;
j – абсолютний мінімум температур;
k – крива ходу середніх місячних температур;
l – крива ходу середніх місячних опадів (співвідношення: 10 ^{0}C відповідає 20 мм);
m – волога пора року;
n – посушлива пора року;
o – місяці із середнім добовим мінімумом температури нижче 0 ^{0}C;
p – місяці з абсолютним мінімумом температури нижче 0 ^{0}C;
q – кількість днів із середньою добовою температурою вище 10 ^{0}C або середня тривалість вегетаційного періоду;
r – кількість днів із середньою добовою температурою вище 0 ^{0}C або середня тривалість безморозного періоду.

й інтенсивність, тобто дефіцит вологи за вертикаллю напівпосушливого періоду. Ця площа на клімадіаграмі штрихується горизонтальним пунктиром.

6. Виходячи з умови, що на клімадіаграмі один місяць дорівнює 30 дням, для типів помірного клімату розраховують: 1) тривалість безморозного періоду, яка вимірюється довжиною відрізка асимптоти T=0 ^{0}C, що відсікає температурна крива; 2) тривалість веґетаційного періоду, яка вимірюється довжиною відрізка асимптоти T=10 ^{0}C, що відсікає температурна крива.

7. Для помірного холодного (бореального) й арктичного/антарктичного кліматів розраховують тривалість періоду з морозами вище -10 ^{0}C, яка вимірюється довжиною відрізку асимптоти T=-10 ^{0}C, що відсікає температурна крива.

8. Безпосередньо під шкалою часу на клімадіаграмі у вигляді вузької стрічки відмічають за допомогою стрічки чорного кольору місяці з середньою добовою температурою нижче 0 ^{0}C та стрічкою з косою штриховкою – місяці з абсолютними мінімумами нижче 0 ^{0}C (рис. 3.1).

9. Поряд із шкалою температур у вигляді стовпчика показують наступні дані метеорологічних спостережень (абсолютний максимум температур – *g*; середній добовий максимум температури найтеплішого місяця – *h*; середній добовий мінімум температури найхолоднішого місяця – *i*; абсолютний мінімум – *j*; при необхідності надання характеристики екваторіальному та тропічному кліматам, до цих даних додають ще середню добову амплітуду температур, яка розміщується поміж другою та третьою позиціями – *t*.

10. За умов коли клімадіаграма виконується в кольорі, спосіб зображення кривих і зон між ними змінюється.

Практичне заняття № 4
Тема: Оцінка вразливості техногенно навантаженої урбоекосистеми до зміни клімату

Оцінка вразливості техногенно навантажених урбоекосистем до змін клімату була розроблена Робочою групою громадських організацій зі зміни клімату (2014) [28]. Сутність методики ґрунтується на оцінці показників-індикаторів, які входять до семи груп, а саме:

1 – група індикаторів оцінки вразливості міста до теплового стресу;

2 – група індикаторів оцінки вразливості міста до підтоплення;

3 – група індикаторів оцінки вразливості міських зелених зон;

4 – група індикаторів оцінки вразливості до стихійних гідрометеорологічних явищ;

5 – група індикаторів оцінки вразливості до погіршення якості та зменшення кількості питної води;

6 – група індикаторів оцінки захворювань згідно зростання кількості інфекційних та алергійних проявів;

7 – група індикаторів оцінки вразливості енергетичних систем міста.

Оцінка індикаторів в кожній групі дає можливість визначити яких наслідків слід очікувати в конкретній урбоекосистемі, а саме, підтоплення,

зменшення зелених зон, алергічних захворювань, тощо, і відповідно, до встановленої небезпеки розробляти заходи з адаптації. Згідно запропонованої методики чітко буде видно для якої групи індикаторів слід негайно запроваджувати відповідні заходи, для якої – бажано, а для якої – взагалі непотрібно.

Оцінку вразливості техногенно навантаженої урбоекосистеми до кліматичної зміни має проводити команда професіоналів, що складається з представників різних структурних підрозділів міської ради, фахівців з підрозділів Міністерства охорони здоров'я, Державної служби з надзвичайних ситуацій, зокрема – Управління Гідрометеорології ДСНС, неурядових громадських організацій, тощо.

Члени команди спочатку ознайомлюються з інформацією щодо кліматичної зміни в місті, аналізують чинники, які посилюють її негативні наслідки, а вже потім розпочинають роботу безпосередньо над оцінюванням кожного конкретного індикатора, керуючись оціночною формою з таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Оціночна форма для визначення наслідків від кліматичної зміни в техногенно навантажених урбоекосистемах [28]

Індикатор	Оцінка		
	Неактуаль-но (0 балів)	Актуально (1 бал)	Дуже актуально (2 бали)
Група індикаторів для оцінки вразливості до теплового стресу			
1. Зростання кількості днів із максимальними температурами повітря понад +30°С та +35°С протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.			
2. Зростання середньодобових та середньомісячних температур повітря у літні місяці протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.			
3. Прогнозоване зростання температури повітря для регіону, в якому розташоване місто.			
4. Зростання повторюваності «хвиль тепла «протягом останніх років.			
5. Наявність «острову» тепла.			
6. Відсутність водних об'єктів у місті.			
7. Малі площі зелених зон у місті, тенденція до їх скорочення, нерівномірність розташування у різних частинах міста.			
8. Переважання штучних поверхонь у місті над природними.			
9. Наявність потужних джерел антропогенного тепла у місті.			
10. Значний відсоток населення у місті, що є вразливим до надмірної спеки (люди похилого віку, діти, люди з хронічними захворюваннями, тощо).			

Продовження табл. 4.1

11. Обмеженість доступу до якісного медичного обслуговування (перш за все, швидкої медичної допомоги та кількість лікарняних ліжок на 10 тис. населення менше нормативної).			
12. Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат, про правила поводження під час періодів надмірної спеки.			
Сума балів:			
Група індикаторів для оцінки вразливості міста до підтоплення			
1. Зростання кількості днів із аномальною кількістю опадів по сезонах протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.			
2. Зростання кількості випадків підтоплення окремих частин міста протягом кількох останніх років.			
3. Прогнозоване зростання кількості опадів загалом за рік або за окремі сезони, а також зростання частоти випадання зливових опадів зі значною кількістю за короткий період.			
4. Відсутність у місті зливової каналізації, або за наявності її поганий технічний стан, нерегулярні ремонти.			
5. Розташування міста на березі великої водойми.			
6. Розташування міста або окремих його частин нижче рівня моря або на незначних висотах.			
7. Наявність населення та розташування стратегічних об’єктів міста в зоні можливого підтоплення.			
8. Значний відсоток у місті штучних водонепроникних поверхонь, порівняно з природними.			
9. Відсутність достатньої кількості технічних та людських ресурсів для швидкої евакуації населення з можливих зон підтоплення.			
10. Зруйнована інфраструктура завдяки кліматичним змінам протягом останніх років.			
11. Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат, про правила поводження під час підтоплень.			
12. Відсутність інфраструктури в окремих частинах міста, що можуть бути відрізані водою від інших районів.			
Сума балів:			
Група індикаторів для оцінки вразливості міських зелених зон			
1. Зростання кількості днів із максимальною температурою повітря +30 ^{0}C та +35 ^{0}C і більше протягом останнього десятиріччя порівняно з кліматичною нормою.			
2. Зміщення та зміна тривалості вегетаційного періоду.			

Продовження табл. 4.1

3. Зміна кількості та інтенсивності випадання опадів протягом вегетаційного періоду.			
4. Площа зелених зон у розрахунку на 1 жителя міста менша нормативної.			
5. Скорочення площі зелених зон (у відсотках порівняно із загальною площею міста).			
6. Малий відсоток площі природоохоронних територій у місті по відношенню до загальної площі міста.			
7. Поява інвазивних видів у межах міських зелених зон.			
8. Поява нових шкідників/захворювань рослин у межах зелених зон.			
9. Скорочення кількості видів рослин у місті.			
10. Обмеженість технічних та людських ресурсів для утримання зелених зон. Низький рівень агротехніки догляду за міськими рослинами.			
11. Недостатнє фінансування для озеленення міста та підтримання в належному стані наявних зелених насаджень.			
12. Високий рівень забруднення атмосферного повітря у місті.			
Сума балів:			
Група індикаторів для оцінки вразливості до стихійних гідрометеорологічних явищ			
1. Зростання повторюваності стихійних метеорологічних явищ, що завдали руйнувань та збитків, протягом останніх років.			
2. Наявність інфраструктури, що була зруйнована через стихійні гідрометеорологічні явища протягом останніх років, та промислових підприємств у місті чи поблизу, що можуть бути пошкоджені стихійними явищами.			
3. Обмежений доступ у населення до інформації про погоду та клімат (відсутність завчасного інформування населення про можливі стихійні явища).			
4. Відсутність у місті зливової каналізації або за її наявності її поганий технічний стан, нерегулярні ремонти.			
5. Відсутність достатньої кількості технічних, людських та фінансових ресурсів для швидкої евакуації населення з можливих зон, що зазнають впливу стихійного гідрометеорологічного явища.			
6. Обмеженість доступу до якісного медичного обслуговування (перш за все, швидкої медичної допомоги).			
Сума балів:			

Продовження табл. 4.1

Група індикаторів для оцінки вразливості до погіршення якості та зменшення кількості питної води			
1. Відсутність у місті власних джерел для водопостачання населення чи використання привозної води.			
2. Переважання поверхневих джерел водопостачання у місті над підземними.			
3. Негативна тенденція зміни річкового стоку в регіоні.			
4. Зростання частоти прояву посух протягом останніх 10 років.			
5. Наявність у місті промислових підприємств, що споживають значну кількість води.			
6. Наявність підприємств, що здійснюють скиди води у водні об’єкти.			
7. Неналежний стан водопровідної мережі у місті.			
8. Неналежний стан водоочисних споруд для очищення води, яку споживає населення.			
9. Відсутність належної системи водного менеджменту у місті.			
10. Зростання кількості населення міста.			
11. Відсутність культури водоспоживання у населення міста.			
12. Значна частка малозабезпечених сімей у структурі населення міста.			
Сума балів:			
Група індикаторів для оцінки вразливості до зростання кількості інфекційних захворювань та алергійних проявів			
1. Значна частка населення, вразливого до інфекційних захворювань.			
2. Зростання частоти прояву стихійних гідрометеорологічних явищ, що можуть сприяти поширенню інфекційних захворювань (наприклад, сильні зливи).			
3. Прогнозоване зростання середньої температури повітря.			
4. Значна частка населення, схильного до алергійних проявів.			
5. Наявність природних осередків інфекційних захворювань та паразитарних захворювань у місті чи поблизу нього.			
6. Неналежне забезпечення населення стаціонарною медичною допомогою (кількість лікарняних ліжок менша нормативного).			
Сума балів:			
Група індикаторів оцінки вразливості енергетичних систем міста			
1. Зростання температури повітря та повторюваності «хвиль тепла» у літній період та прояву екстремально низьких температур – у холодний.			

Продовження табл. 4.1

2. Зростання кількості днів із сильним вітром та повторюваності стихійних метеорологічних явищ.			
3. Незначна абсолютна висота розташування станції, віддаленість від водних об'єктів, випадки підтоплення станції чи територій, розташованих поблизу.			
4. Відсутність у місті джерел енергії (традиційних або альтернативних) для населення (чи, принаймні, для стратегічних об'єктів) на випадок аварійних ситуацій.			
5. Зростання кількості населення та споживання електроенергії на одну особу в місті.			
6. Зношеність основних фондів, неналежний технічний стан обладнання електроенергетичної системи міста.			
Сума балів:			

Після заповнення оціночної форми, підраховують кількість балів у кожній групі індикаторів та здійснюють ранжування груп за набраною кількістю. За умов, коли будь-яка група індикаторів в кінцевому підсумку набрала понад 14 балів, а саме, вище 60 % від максимально можливої кількості балів, то вважається що вона є вразливою до певного негативного наслідку зміни клімату, отже необхідно розробляти заходи з адаптації саме для цієї групи. Для груп індикаторів, що набрали меншу кількість балів – від 8 до 14 або 34-60 %, також бажано запланувати заходи з адаптації для техногенно навантаженої урбоекосистеми. Групи, що набрали менше 8 балів (34 %) на даному етапі не потребують розробки заходів, однак слід проводити моніторинг індикаторів, адже за умов швидких змін в соціальній структурі міста, енергетичній системі, динаміці розвитку зелених зон, можуть з'явитися нові результати моделювання клімату. Рекомендується аналізувати всю необхідну інформацію щодо показників-індикаторів зміни клімату та здійснювати оцінку вразливості для техногенно навантаженої урбоекосистеми щорічно.

Практичне заняття № 5
Тема: Оцінка впливу змін клімату на якість атмосферного повітря техногенно навантажених урбоекосистем

Оцінку забруднення атмосферного повітря техногенно навантажених урбоекосистем парниковими газами можна проводити за допомогою індексу забруднення атмосфери (ІЗА).

Індекс забруднення атмосфери окремою речовиною розраховується як відношення концентрації цієї речовини в повітрі до її гранично допустимої норми за формулою 5.1. Цей показник успішно застосовується для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міст, а також для порівняння рівня забруднення різними речовинами.

$$ІЗА_i = (С_i/ГДК_i)^{K_i} \quad (5.1)$$

де $С_i$ – середня концентрація і–ї речовини у повітрі протягом досліджуваного періоду, мг/м³;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація і–ї речовини в повітрі, мг/м³;

K_i – константа, яка змінює свої значення залежно від класу небезпеки речовини.

У формулі (5.1), ГДК є середньодобовою ГДК забруднюючих речовин, мг/м³.

Середньодобову ГДК встановлюють для попередження загальнотоксичної, канцерогенної, мутагенної та іншої прямої чи побічної шкідливої дії на людину в умовах тривалого (цілодобового) вдихання речовини. Її визначають як середньоарифметичне значення разових концентрацій, для яких вказано термін часу відбору, чи як середній вміст шкідливих домішок у пробах атмосферного повітря, відібраних протягом 24 год. без перерви чи з однаковими інтервалами між відборами.

У разі відсутності цього показника допускається заміна на максимально разову ГДК або орієнтовно безпечний рівень впливу (ОБРВ).

Максимальну разову ГДК встановлюють з метою запобігання рефлекторним реакціям у людини через подразнення рецепторів органів дихання (сприйняття неприємних запахів, чхання, алергічні явища, зміна біоелектричної активності головного мозку, світлової чуттєвості очей, тощо) за короткочасної дії (до 20 хв.) атмосферних забруднень. У зв’язку з тим, що концентрації забруднень в атмосферному повітрі не постійні в часі та змінюються залежно від метеорологічних умов, рельєфу місцевості, характеру викиду, виду та інтенсивності забудови й інших причин, разові проби відповідно до вимог стандартів відбирають регулярно кілька разів на добу протягом короткого проміжку часу (20–30 хв.).

ОБРВ – норматив якості атмосферного повітря, який використовується у разі відсутності значень ГДК забруднюючих речовин. Одиниці виміру ОБРВ – ті ж самі, що й для концентрацій, мг/м^3. ОБРВ визначають шляхом розрахунку концентрацій за фізико-хімічними властивостями або інтерполяцією та екстраполяцією в низках близьких за будовою сполук, або за показниками гострої небезпеки. Величини ОБРВ мають переглядатися після їх затвердження кожні 2 роки або можуть бути замінені на ГДК з урахуванням одержаних даних про вплив забруднюючих речовин на здоров’я людей та умови їх існування.

Коефіцієнт К для розрахунку забруднюючих речовин, залежно від їх класу небезпеки, визначається наступним чином:

1 клас небезпеки: К = 1,7;

2 клас небезпеки: К = 1,3;

3 клас небезпеки: К = 1,0;

4 клас небезпеки: К = 0,9.

Здійснивши нормування результатів розрахунку ІЗА можна дійти висновків щодо якості атмосферного повітря та стану здоров'я населення міста (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Відповідність значень ІЗА стану здоров'я та якості атмосферного повітря

Індекс забруднення атмосфери	Рівень забруднення	Вплив на здоров'я населення	Екологічний стан атмосферного повітря
<5	Низький	Незначний	Нормальний
5-8	Підвищений	Суттєвий	Ризиковий
8-15	Високий	Неприйнятний	Кризисний
>15	Дуже високий	Небезпечний	Катастрофічний

Рівень забруднення атмосферного повітря техногенно навантажених урбоекосистем зумовлюється не тільки об'ємами й складом викидів промислових підприємств та автотранспорту, а й метеорологічними умовами щодо розсіювання або, навпаки, концентрації шкідливих домішок в атмосфері, отже, вони, згідно Н.С. Максюті (2021), формують своєрідний метеорологічний потенціал забруднення повітря [14].

Парникові гази призводять до зміни клімату, що відбивається через метеорологічні показники, які, в свою чергу, впливають на рівень забруднення атмосферного повітря урбанізованих територій різними речовинами, в тому числі й самими парниковими газами. В атмосфері міста вміст парникових газів може змінюватися під впливом різних атмосферних рухів, які відрізняються за масштабами, проте особливу увагу слід приділяти локальним процесам, які є переважаючими для формування клімату міста та здатні формувати осередки забруднення безпосередньо навколо джерел викидів.

Умови для розсіювання парникових газів в атмосферному повітрі техногненно навантаженої урбоекосистеми можна оцінити за показником метеорологічного потенціалу атмосфери (ПМПА), який розраховують за формулою (5.2)

$$ПМПА = К_t + К_V + К_O \quad (5.2)$$

де $К_t$ – коефіцієнт теплового потенціалу міста, який розраховується як відношення значень середньомісячної температури теплого періоду року ($t_т$) до середньомісячної температури холодного періоду року ($t_х$);

$К_V$ – коефіцієнт вітрового потенціалу міста, який розраховується як відношення значень річної повторюваності днів зі швидкостями вітру понад 6 м/с (V>6) до річної повторюваності днів зі швидкостями вітру менше 1 м/с (V<1);

$К_O$ – коефіцієнт потенціалу опадів міста, який розраховується як відношення значень річної кількості опадів міста ($О_{річ}$) до норми кількості

опадів міста ($О_{норм}$) [14] або 400 мм – річної норми кількості опадів, необхідної для очищення атмосферного повітря, мм [9].

Нормування одержаних значень ПМПА проводять згідно табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Показник метеорологічного потенціалу атмосфери міста [10]

Значення показника	Умови для розсіювання забруднюючих речовин	Показник метеорологічного потенціалу міста
< 11,1	Дуже небезпечні	Низький
11,1 - 12,1	Небезпечні	Підвищений
12,2 - 13,3	Сприятливі	Високий
> 13,3	Ефективні	Дуже високий

Практичне заняття № 6
Тема: Оцінка викидів парникових газів як основних чинників зміни клімату техногенно навантажених урбоекосистем

Методика оцінювання впливу викидів парникових газів внаслідок господарської діяльності на зміну клімату, розроблена О.Г. Осауленко, Т.В. Кобилинська (2020) на підставі статистичних показників викидів від стаціонарних та пересувних джерел [20], надає змогу різнобічно оцінити небезпеку забруднення атмосферного повітря в містах.

Екологічні наслідки діяльності промислових підприємств, зумовлюються викидами забруднюючих речовин, в нашому випадку, парникових газів в атмосферне повітря. Кількість викидів залежить від цілого комплексу факторів, як то розвиток економіки та енергетики, технології виробництва, наявна система очищення газопилових викидів, якість вихідної сировини, тощо. Авторами запропоновано використання методів статистичного спостереження й узагальнення для зведення данних з метою формування інформаційної бази відносних величин, які характеризують об’єми викидів парникових газів з точки зору розвитку економіки та прив’язкою до адміністративних одиниць.

Система екологічних показників у сфері зміни клімату за О.Г. Осауленко, Т.В. Кобилинською (2020) враховує рекомендації ЄЕК ООН (рис. 6.1) [20].

Для аналізу процесу валових викидів рекомендовано використовувати абсолютні показники, а саме, загальну зміну обсягу викидів за видами, та відносні показники, приміром, середній викид по галузям, в перерахунку на одного мешканця або на одиницю площі території уброекосистеми.

Абсолютні показники щодо обсягів викидів в атмосферне повітря отримують з наступних джерел:

- зведені дані ДСС «Охорона атмосферного повітря» щодо валових викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерелах забруднення [16];

Рис. 6.1. Система показників зміни клімату,
розроблена за рекомендаціями СЕК ООН [20]

- розрахункові дані щодо валових викидів небезпечних речовин від пересувних джерел забруднення [17];
- дані інвентаризації викидів парникових газів [18].

Викиди парникових газів оцінюють за видами забруднюючих речовин – діоксид вуглецю, діоксид сірки, неметанові леткі органічні сполуки, оксид азоту, метан та показниками:

- від стаціонарних джерел, усього (млн т);
- частка у загальних викидах (%);
- від мобільних джерел, усього (тис. т);
- частка у загальних викидах (%).

Одержані значення викидів парникових газів перераховують на одну особу (кг/особу), одиницю площі (т/м^2), або на одиницю ВВП (кг/1000 дол. США). За приведеними даними будують кругову діаграму (рис. 6.2) по кожному парниковому газу окремо (діоксид вуглецю, діоксид сірки, неметанові леткі органічні сполуки, оксид азоту, метан) для різних урбоекосистем, які можуть відрізнятися техногенним навантаженням, площею, рівнем розвитку промисловості.

Рис. 6.2. Кількість викидів метану (кг) на 1 км^2 території міст Дніпропетровської області

Практичне заняття № 7
Тема: Оцінка впливу зміни клімату на екологічні умови проживання людини техногненно навантажених територій

Зміни клімату здійснюють значний вплив на екологічні умови проживання людини, як прямо так і опосередковано, особливо це стосується техногенно навантажених територій з високим рівнем урбанізації.

Методика розрахунку якості екологічних умов ґрунтується на цілій низці показників, серед яких абіотичні природні – атмосферний тиск, сейсмічний стан, величина радіаційного балансу, температурний режим, величина атмосферних опадів, забезпеченість орними землями на душу населення країни; та суспільно-економічні – величина внутрішнього валового продукту, що припадає на одну людину на певному рівні розвитку суспільства. Прямий вплив змін клімату буде позначатися передусім через підвищення температури та кількість і частоту атмосферних опадів, а опосередкована дія стосуватиметься зменшення орних земель через опустелювання і позначатиметься на зменшенні величини внутрішнього валового продукту особливо для країн із сільськогосподарським напрямком розвитку народного господарства. Особливо чітко відбиваються негативні наслідки зміни клімату через динаміку інтегрального показника екологічної відповідності умов

проживання людини ($К_{е.в.}$) протягом великого проміжку часу, від 50 років і більше на територіях, які зазнали урбанізації та інтенсивного промислового виробництва.

Значення кожного із вище наведених показників перетворюється у бали відповідно до комфортності або оптимальності згідно закону Шелфорда для життєдіяльності людини.

Методика визначення екологічних умов проживання людини ґрунтується на визначенні інтегрального показника $К_{е.в.}$ за формулою (7.1) [26]:

$$К_{е.в.} = \frac{1}{е} і \cdot в \qquad (7.1)$$

де е – кількість складових природного середовища;

і – коефіцієнт природних умов держави;

в – величина валового внутрішнього продукту (ВВП) на одну людину, тис. дол. США.

Розрахунок коефіцієнту природних умов. До коефіцієнту природних умов входять показники забезпеченості орними землями; атмосферного тиску; сейсмічного стану; сонячної радіації; атмосферних опадів; температурного режиму. За кожним із цих показників вираховують бали, які потім сумують та зменшують у 10 разів, що й буде становити значення коефіцієнту природних умов.

Визначення показника забезпеченості орними землями. Наявність достатньої кількості родючих орних земель свідчить про здатність країни забезпечити своїх громадян продуктами харчування та уникнути проблеми голоду. Визначення забезпеченості орними землями здійснюють наступним чином: за вихідний показник береться 0,6 га як оптимальна величина здатна забезпечити продовольством одну людину. При збільшенні площі на кожні 0,5 га вводять зростаючий коефіцієнт, а при зменшенні на кожні 0,5 га відносно оптимуму застосовують понижуючий коефіцієнт.

Приміром: 2,1 га/л (гектар на людину) – 4 бали; 1,6 га/л – 3 бали; 1,1 га/л – 2 бали; 0,6 га/л – 1 бал; 0,1 га/л – 0,4 бали; 0,05 га/л – 0,3 бали.

Визначення показника впливу атмосферного тиску на людину. Атмосферний тиск може змінюватися залежно від географічних умов місцевості, особливостей атмосферної циркуляції, пори року, температури повітря та з інших причин. Нестабільність стану атмосферних мас з різними термогідробаричними властивостями призводить до хаотичних неперіодичних змін тиску протягом короткого відрізку часу, які здатні несприятливо впливати на здоров'я людини і спричиняти виникнення так званих геліометеопаталогічних реакцій, що особливо притаманно техногенно навантаженим урбоекосистемам. Межею відліку атмосферного тиску є 1010 гПа, тобто тиск 760 мм ртутного стовпчика, відносно цього значення визначають бали користуючись табл. 7.1

Таблиця 7.1

Шкала визначення бальності території залежно від величини атмосферного тиску

Атмосферний тиск, гПа	Бали	Атмосферний тиск, гПа
1010	10	1010
1009	9	1011
1008	8	1012
1007	7	1013
1006	6	1014
1005	5	1015
1004	4	1016
1003	3	1017
1002	2	1018
1001	1	1019
1000	0	1020

Визначення показника сейсмічного стану ґрунтується на наявності вулканів і землетрусів за останніх 100 років. Їх відсутність оцінюється в 0 балів. Залежно від площі вияву сейсмічних явищ в межах території держави, величина балу з від'ємним знаком дорівнює кількості складових за умови, що кожна держава поділена на 10 складових.

Визначення показника сонячної радіації. При визначенні вихідних показників величини сонячної радіації використовують 10-бальну систему її розподілу, беручи за початок відліку величину 60-70 ккал/1 см^2-рік, тобто пересічну величину, від якої найнижчою межею є 20 ккал/1 см^2-рік, а максимальною – 140 ккал/1 см^2-рік. З цього виходить, що 60-70 ккал/1 см^2-рік сонячної енергії, або 10 балів, є оптимальною величиною сонячної радіації, яка сприяє нормальному розвитку людського організму Бали за показником величини сонячної радіації встановлюють згідно табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Шкала визначення бальності території залежно від величини сонячної радіації

Сонячна радіація, ккал/1 см -рік	Бали	Сонячна радіація, ккал/1 см -рік
70	10	70
60-50	8	70-80
50-40	6	80-90
40-30	4	90-100
30-20	2	100-110
<20	0	110>

Визначення показника обсягу атмосферних опадів. Для визначення бальності за показником атмосферних опадів використовують карту їх розподілу на Землі, за умов відповідності оптимального значення 3-м балам. А саме, градаційну бальність розраховують на основі умовних позначень: <250 мм, 250-500, 500-1500, 1500-2500, >2500 мм. За оптимальну взято кількість опадів липня, що змінюється від 500 до 1500 мм – вона відповідає 3-м балам. Кількість опадів від 250-500 і 500-2500 має 2 бали. Максимальна (>2500) і мінімальна (<250) кількість опадів оцінюється в 1 бал. Згідно представленої градації, розташовані у помірному поясі, країни дорівнюють 3 балам. У субтропічному поясі, за винятком середземноморських держав, де кількість опадів є несприятливою для проживання людини – 1 бал. Надмірна кількість опадів притаманна країнам тропічного поясу. У субекваторіальному та екваторіальному поясах кількість липневих опадів відповідає 2 балам. У країнах Західної півкулі кількість опадів є оптимальною становить 2-3 бали.

Визначення показника температурного режиму здійснюється шляхом визначення середньомісячної температури найтеплішого місяця (липня). Оптимальним значенням температури у липні є +28 ^{0}С. Відхилення в ту чи іншу сторону відбиваються на зниженні балу за цим показником (табл. 7.3). Сприятливими для життєдіяльності людини відносно цього показника вважаються середньо-азійських та південноєвропейських країни, а також країни екваторіального поясу.

Таблиця 7.3

Шкала визначення бальності території за температурним режимом

Середня температура найтеплішого місяця, + ^{0}С	Бали	Середня температура найтеплішого місяця, + ^{0}С
28	10	28
27	9	29
26	8	30
25	7	31
24	6	32
23	5	33
22	4	34
21	3	35
20	2	36
19	1	37
18	0	38

Розрахунок ВВП на душу населення. ВВП на душу населення відбиває рівень економічної активності та якості життя населення в окремих країнах і регіонах за певний період. ВВП на душу населення дорівнює значенню ВВП, поділеному на кількість жителів.

Практичне заняття № 8
Тема: Визначення кліматичних ризиків
для техногенно навантажених урбоекосистем

Точна оцінка ризику та його рушійних факторів є важливим підґрунтям для прийняття ефективних управлінських рішення щодо заходів з адаптації на рівні техногненно навантажених урбоекосистем. Оцінка кліматичного ризику допомагає визначити гарячі точки, як то території або населення, які вже зазнали негативного впливу або можуть потенційно постраждати від несприятливих наслідків зміни клімату. Оцінка кліматичного ризику в різних просторових і часових масштабах необхідна для розуміння гостроти ситуації, що склалася в місті та в подальшому розробки виваженої кліматичної політики і стратегій з планування конкретних заходів адаптації [18, 34, 43].

Кліматичні ризики – це багатогранні, різноманітні короткострокові, середньо- та довгострокові наслідки кліматичних змін, що охоплюють багатовимірний діапазон від місцевого до глобального та є вплив подій, пов’язаних з погодними умовами, як то шторми, повені, хвилі тепла, тощо. Кліматичні ризики, виступаючи факторами зміни клімату, не здатні спричиняти загроз безпеки, а лише впливають на параметри, які можуть спровокувати їх виникнення [23]. Поняття кліматичного ризику ґрунтується на поняттях факторів (або причин) ризику та об’єкту (реципієнта) ризику. Характеристикою кліматичного ризику є критичне значення (або сукупність значень), яке припадає на область несприятливих значень факторів ризику, що призводять до істотних збитків для об’єкту.

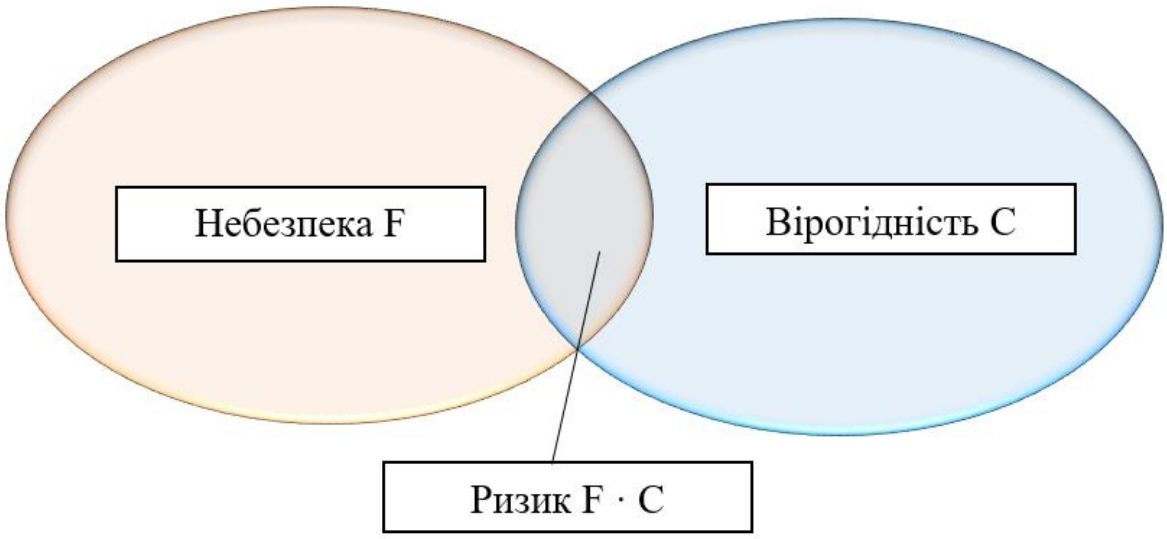

Рис. 8.1. Загальна модель формування екологічного ризику

Оцінка ризику може бути застосована до процесів, пов’язаних із кліматом, що виникають раптово та повільно, і розгортаються протягом часових масштабів від годин до днів до місяців і років. Кліматичний ризик зазвичай визначають як ймовірність негативних наслідків або очікуваних

втрат, який виникає внаслідок взаємодії між метеорологічними небезпеками та вразливістю реципієнту з урахуванням його вразливості. Загальний вигляд математичної інтерпретації ризику наведено на рис. 8.1. В теперішній час використовують удосконалену модель, де ризик виступає функцією небезпеки, впливу та вразливості (рис. 8.2). На практиці кліматичний ризик встановлюють виходячи з фінансових оцінок ризиків (прибутків або збитків), яким піддається реципієнт під дією небезпечних метеорологічних явищ, а саме – посухи, морозу, сильних дощів та снігопадів, вітру, до зміни клімату в цілому.

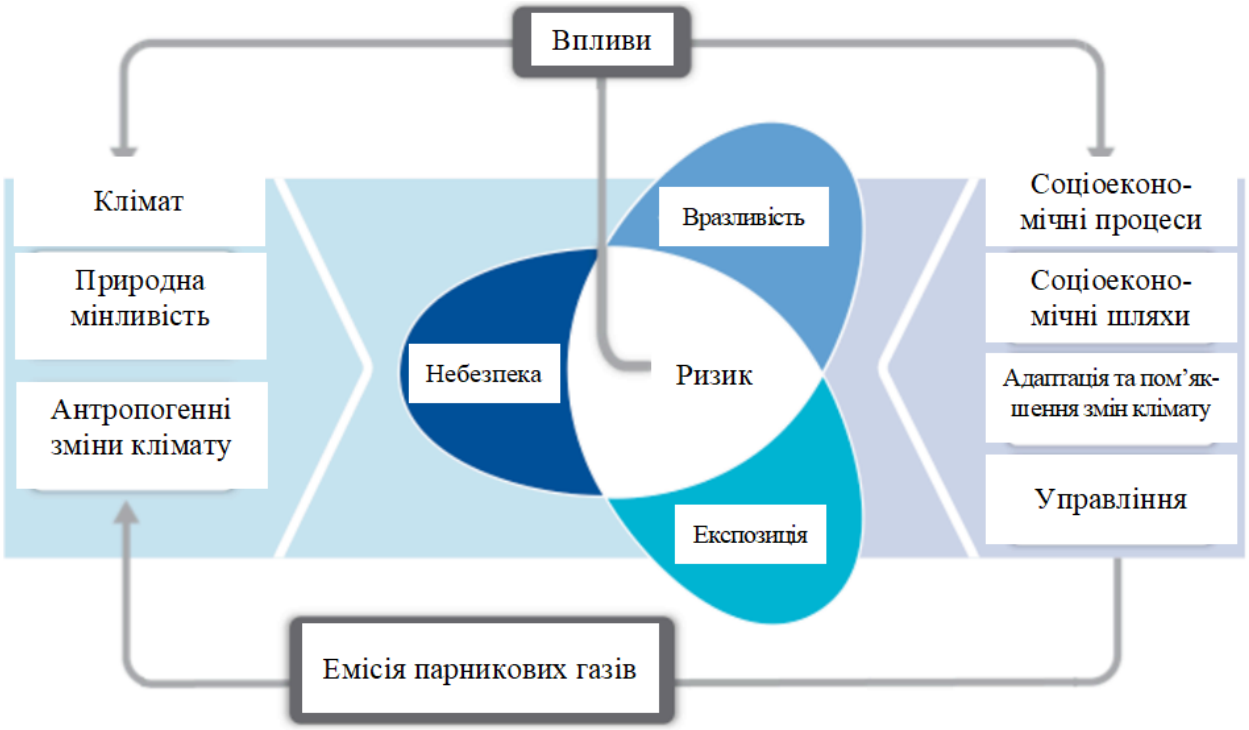

Рис. 8.2. Концепція ризику змін клімату [34, 39]

Ризик визначається за наступною формулою (8.1):

$$R = P(Ф)У \quad (8.1)$$

де: P(Ф) – ймовірність небезпечного явища;

У – середні збитки, пов'язані з реалізацією цієї події.

Оскільки фактична вразливість часто невідома, то для визначення цієї величини використовуються опосередковані способи оцінки.

Соціальний ризик $R_{соц.}$, виступає співвідношенням між числом людей, які зазнали впливу внаслідок небезпечного метеорологічного явища та ймовірністю його настання. Відносно території міста він може бути визначений за формулою (8.2) [2].

$$R_{соц.} = p \cdot (s/S) \cdot t_{ср} \cdot K_a \quad (8.2)$$

де: p – ймовірність небезпечного метеорологічного явища (смерч, ожеледь, вітер, тощо);

$t_{ср}$ – середня тривалість небезпечного метеорологічного явища за досліджуваний період;

s – середня площа охоплення території небезпечним метеорологічним явищем;

S – вся площа території адміністративної одиниці.

K_a – коефіцієнт агресивності явища, який встановлюється за його силою впливу на досліджуваній території (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Коефіцієнт агресивності небезпечних явищ

Небезпечне метеорологічне явище	K_a
Смерч	6
Град	3
Ожеледь	2,5
Шквал	1,4
Сильний вітер	1
Хуртовина	0,8
Дощ	0,03

Для оцінки ймовірність небезпечного метеорологічного явища використовують формулу (8.3)

$$p = n/N \tag{8.3}$$

де: n – число небезпечного метеорологічного явища на даній території за весь період спостережень;

N – кількість років спостережень.

Основою економічного механізму управління кліматичним ризиком є визначення економічних збитків, що створюється небезпечною подією. В основу запропонованого методу розрахунку можливих економічних збитків внаслідок ризику нанесення соціальної шкоди території техногенно навантажених урбоекосистем через небезпечні метеорологічні явищі при зміні клімату покладено наступні постулати:

- розвиток промисловості та сільського господарства тісно пов’язані зі щільністю населення;
- економічним еквівалентом вразливості або ціною ризику є частка ВВП, яка припадає на одного жителя адміністративно-територіальної одиниці.

Економічні збитки ($R_{ек}$) які можуть бути спричинені внаслідок настання небезпечних метеорологічних явищ розраховують за формулою (8.4)

$$R_{ек} = A \cdot R_{соц} \tag{8.4}$$

де: А – коефіцієнт вартості ризику, який дорівнює співвідношенню ВВП на одного жителя адміністративної одиниці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаптація до зміни клімату. Карпатський Інститут Розвитку. Агентство сприяння сталому розвитку Карпатського регіону. Львів: «ФОРЗА», 2015. 36 с.
2. Акентьева Е. М., Кобышева Н. В. Стратегия адаптации к изменению климата в технической сфере для России. Труды ГГО. 2011. Вып. № 563. С. 60-77.
3. Басок Б.І., Базєєв Є.Т., Кураєва І.В. Адаптація комунальної теплоенергетики до змін клімату. Вісник Національної академії наук України. 2021. № 4. С. 60-75.
4. Города и изменение климата: направления стратегии глобальный доклад о населенных пунктах 2011 года. Сокращенная версия Программа ООН по населенным пунктам. Лондон: Earthscan, 2011. 67 с.
5. Довкільна та кліматична стійкість Східного партнерства – оцінка перспективи досягнення в Україні – 2. Основні тези: аналітичний документ / Під ред. Н. Андрусевич, Р. Гаврилюка, А.Голубовської-Онісімової, О. Кравченко, Н. Куць, Т. Малькової. Українська національна платформа Форуму громадянського суспільства Східного партнерства. Київ, 2021. 16 с.
6. Изменение климата: последствия, смягчение, адаптация: учеб-метод. комплекс / Под ред. М.Ю. Бобрик. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. 426 с.
7. ИУВР как инструмент для адаптации к изменению климата. Пособие по обучению и руководство для тренера. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cacena_files/ru/pdf/capnet-adapt-to-climate-manual_ru.pdf
8. Іванюта С.П. Адаптація до змін клімату в Україні: проблеми і перспективи. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень. Відділ енергетичної та техногенної безпеки. № 32 Серія «Національна безпека». 2016. URL: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/nacionalna-bezpeka/adaptaciya-do-zmin-klimatu-v-ukraini-problemi-i-perspektivi
9. Ілляш О.Е., Комлева Ю.В. Аналіз впливу кліматичних факторів на рівень забруднення атмосфери м. Полтави. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна серія «Екологія» 2017. №.16. С. 73-77.
10. Картування стратегічних цілей України та ЄС у контексті Європейського зеленого курсу: вектори розвитку та флагманські ініціативи: аналітичний документ. Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля». 2021. 54 с. www.irf.ua/wp-content/uploads/2021/07/ua_greendeal_flagship_mapping_2021.pdf
11. Кліматичні цілі Львова: гайд для обраних до міської ради / Під ред. М. Рябика, А. Зозулі, Т. Раді. Львів: ПЛАТО, 2020. 44 с.
12. Логинов, В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск: ТетраСистемс, 2008. 494 с.

13. Логинов, В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. Минск: Беларуская навука, 2012. 266 с.
14. Максюта Н.С. Удосконалення моніторингу атмосферного повітря агломерацій (на прикладі м. Полтава) : дис. … канд. тех. наук : 183 Технології захисту навколишнього середовища. Полтава, 2021. 240 с.
15. Маринин И.Л., Енгалычева О.Р. Основные характеристики и пространственное распределение острова тепла в г. Одесса, Вісник Одеського державного екологічного університету. 2010. Вип.10. С. 135-142.
16. Методологічні положення з організації державного статистичного спостереження щодо викидів забруднюючих речовин та парникових газів в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення, затверджені Наказом Держстату України від 31.12.2019 № 454. http://www.ukrstat.gov.ua/norm_doc/2019/454/454.pdf
17. Методологічні положення з організації державного статистичного спостереження щодо викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення, затверджена Наказом Держстату України від 10.12.2019 № 395. URL: http://ukrstat.gov.ua/metod_polog/metod_doc/2019/395/395.pdf
18. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990-2018 рр. https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/2020/Ukraine_NIR_2020%20draft.pdf
19. Облаштування зеленого даху https://dominant-wood.com.ua/ua/statti/543-zelenij-dah-vidi-i-osoblivosti-vstanovlennya
20. Осауленко О.Г., Кобилинська Т.В. Статистика зміни клімату: європейський досвід та національна оцінка: монографія. Київ: ТОВ «АвгустТрейд», 2020. 344 с.
21. Разии Т., Сагафьян Б., Шокухи А. Мониторинг засухи с использованием показателя SPI в провинции Язд, Иран. Публикации Тренингового центра МКВК. 2005. Вып. 12. Изменение климата: что говорит наука. С. 27-27.
22. Саратов І.Ю. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Метеорологія і кліматологія» (для студентів 2 курсу денної та 3 курсу заочної форм навчання напряму 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»). Харків: ХНАМГ, 2009. 59 с.
23. СІПРІ 2016: Щорічник: Озброєння, роззброєння та міжнародна безпека: Пер. з англ. Стокгольм. міжнар. інститут дослідження миру; Український центр економічних і політичних досліджень ім. О. Разумкова / Під ред. Л. Шангіна. К.: Заповіт, 2018. 768с.
24. Спірін О.І. Метод клімадіаграм за Ґоссеном–Вальтером: Практичний порадник. (для студентів II, III та V курсів денного й I та VI курсів заочного відділень за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона

навколишнього середовища та збалансоване природокористування» спеціальності 8.040106 Екологія і охорона навколишнього середовища") з дисциплін «Загальна екологія», «Загальна екологія і основи заповідної справи» та «Заповідна справа». Харків: ХНАМГ, 2012. 38 с.
25. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Відомості Верховної Ради. 2014. № 40. ст. 2021.
26. Фекета І.Ю. Екологія людини. Методичні матеріали для студентів географічного факультету. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2013. 48 с.
27. Хінальська Т.Р., Породко І.Г., Екологічна безпека при плануванні та забудові міст України. Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки. 2018. Вип. 19. С. 109-112.
28. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколюк І.Ю., Ілляш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Київ: Myflaer, 2014. 74 с.
29. Шевченко О.Г. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації. Часопис картографії. 2017. Вип. 17. С. 95-109.
30. Экологическая энциклопедия: в 6 т. / Под ред. В.И.Данилова-Даниэляна, К.С. Лосева. Москва: Энциклопедия, 2010-2014.
31. Alley W.M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 1984. №. 23. P. 1100-1109.
32. Burton I. The growth of adaptation capacity: practice and policy /Adapting to Climate Change: An International Perspective. New York: Springer-Verlag, PP. 55-67.
33. Chung S. and Lee S. Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques. Journal of environmental management. 2009. № 90(3). 1502-1511.
34. Climate Change Risk Assessment Guidelines. CTCN Request No. 2018000009. 2019. Vol. 4. Kurunegala. 57 p. (www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/D4.2%20Climate%20change%20risk%20assessment%20guidelines.pdf
35. El Gafy I., Grigg N. Climate change vulnerability index and multi-criteria ranking approach for assessing the vulnerability to climate change: case study Egypt. Journal of American science. 2016. №12(8). P. 29-40.
36. Emissions Gap Report 2020. UN Environment Programme. https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020
37. Emissions Gap Report 2020. UN Environment Programme. https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020
38. Fawzy S., Osman A.I., Doran J., Rooney D.W. Strategies for mitigation of climate change: a review. Environmental Chemistry Letters. 2020. Vol 18. P. 2069-2094.
39. Fifth Assessment Report (AR5). IPCC. 2014. www.ipcc.ch/report/ar5

40. Gancheva M., O'Brien S., Tugran T., Borrett C. Adaptation to climate change: Celllenger and opportunities for the EU local and regional authorities.
41. Global Energy Outlook: CO_2 Emissions in 2020. Paris: IEA, 2021. https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020
42. Holmer B., Thorsson S., Eliasson I. Cooling rates, sky view factors and the development of intra-urban air temperature difference. Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography. 2007. December. P. 237-248.
43. Huggel C., Scheel M., Albrecht F., Andres N., Calanca P., Jurt C., Khabarov N., Mira-Salama D., Rohrer M., Salzmann N., Silva Y., Silvestre E., Vicuña L., Zappa M. A framework for the science contribution in climate adaptation: experiences from sciencepolicy processes in the Andes. Environmental Scityce and Policy. 2015. № 47. P. 80-94. http://dx. doi.org/10.1016/j.envsci.2014.11.007.
44. Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. contribution of working group II, the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1042 p.
45. Intergovernmental panel on climate change (IPCC). Climate change 2007: climate change impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 987 p.
46. Isotopes confirm the dominant role of fossil fuel combustion in increasing levels of atmospheric carbon dioxide. WMO Greenhouse Gas Bulletin. 2019. №. 15, November 25.
47. Jun K., Chung E., Kim Yo., Kim Ye. A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate change impact. Expert systems with applications. 2013. № 40. P. 1003-1013.
48. Kennedy K., Steinberger J., Gasson B., Hansen Y. ETC. Greenhouse gas emissions from global cities. Environmental science and technology. 2009. 43, 19, P. 7297-7302.
49. Landsberg, H.E. The Urban Climate. New York: Academic Press, 1981. 275 p.
50. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A.. A drought climatology for Europe. International Journal of Climatology. 2002. V. 22. №. 13. P. 1571-1592.
51. National adaptation program of action (NAPA) to climate change. Climate change vulnerability mapping for Nepal. Kathmandu: Government of Nepal, Ministry of Environment. 2010. 96 p.
52. Rolbiecki R., Yücel A., Kociecka J., Atilgan A., Markovic M., Liberacki D. Analysis of SPI as a drought indicator during the maize growing period in the Çukurova Region (Turkey). Sustainability 2022. №. 14. 3697. https://doi.org/10.3390/su14063697
53. Schneider, S.H. and Sarukhan, J. Overview of impacts, adaptation, and vulnerability to climate change / Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. P. 75-103.

54. Smit B., Burton I., Klein R.J.T, Street R. The science of adaptation: a framework for assessment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 1999. № 4. 199-213.
55. Sullivan C., and Byambaa E. The application of the climate vulnerability index in Mongolia. Workshop of climate adaptation. UNECE. Geneva. June 2013.
56. Sun C., Zhang Y., Ma W., Wu R., Wang S. The impacts of urban form on carbon emissions: a comprehensive review. Land. 2022. 11(9). 1430.
57. Yusuf A. and Francisco H. Climate change vulnerability mapping for Southeast Asia. Economy and Environment Program for Southeast Asia (EEPSEA). 2009. http://www.eepsea.org

ДОДАТКИ

Додаток А

Вибіркові приклади ключових технологій, політики та заходів обмежень та можливостей пом’якшення впливів на зміну клімату у секторах

Галузь	Ключові технології та практика пом’якшення впливів, наявних на ринку в даний час. Курсивом показані ключові технології та практика пом’якшення впливів, які, згідно з проекціями, будуть доступними на ринку до 2030 року.	Політика, заходи та механізми, які зарекомендували себе як екологічно ефективні	Ключові обмеження або можливості
Енергопостачання	Підвищення ефективності постачання та розподілу; перехід з вугілля на газ; ядерна енергія; відновлювані джерела тепла та енергії (гідроелектроенергія, сонячна енергія, енергія вітру, геотермальна та біоенергія); комбінована теплоенергетика; перші застосування уловлювання та зберігання вуглекислого газу (УЗВ) (наприклад зберігання УЗВ, виділеного з природного газу); УЗВ для електростанцій, що працюють на газі, біомасі та вугіллі; модернізована ядерна енергетика; ефективніша енергетика на відновлюваних джерелах енергії, зокрема. енергія припливів та концентрована сонячна енергія та сонячні фотоперетворювачі	Зменшення субсидій на викопні види палива; податки або збори за вуглець, що стягуються з викопних видів палива	Пільгові тарифи на технології на основі відновлюваних джерел енергії; зобов’язання щодо впровадження відновлюваних джерел енергії; субсидії виробникам
		Опір великих підприємців може ускладнити реалізацію цих заходів	Може бути доцільним створення ринків технологій із низьким рівнем викидів
Транспорт	Транспортні засоби із підвищеною паливною економічністю; гібридні транспортні засоби; чистіші дизельні транспортні засоби; біопаливо; перехід з автомобільного транспорту на залізничний та системи громадського транспорту; немеханізований транспорт (поїздки велосипедом, пересування пішки); планування землекористування та транспорту; біопаливо другого покоління;	Обов’язкова економія палива, поєднання біопалива та норми викидів CO_2 для автомобільного транспорту	Часткове охоплення транспортного парку може обмежити ефективність
		Податки на придбання, реєстрацію та експлуатацію транспортних засобів та моторне паливо, проїзд дорогами та автостоянки	Ефективність може зменшитися при зростанні доходів

	більш ефективні повітряні судна; більш досконалі електричні та гібридні транспортні засоби з потужнішими та надійнішими акумуляторами	Вплив на потреби у пересуванні за допомогою нормативних актів, що регулюють землекористування та планування інфраструктури; інвестування у привабливі засоби громадського транспорту та немеханізовані види транспорту	Особливо доцільно для країн, які нарощують потенціал своїх транспортних систем
Будинки	Ефективне штучне та природне освітлення; більш ефективні електроприлади та нагрівальні і охолоджувальні установки; вдосконалені кухонні плити, покращена ізоляція; пасивні та активні сонячні системи для нагрівання та охолодження; альтернативні холодоагенти, повторне використання та рециркуляція фторованих газів; комплексне проєктування комерційних будівель, включаючи такі технології, як «інтелектуальні» лічильники, які забезпечують зворотний зв'язок та регулювання; сонячні фотоелектричні елементи, вбудовані в будівлі	Стандарти та маркування приладів	Необхідний періодичний перегляд стандартів
		Будівельні норми та сертифікація	Привабливо для нових будівель. Забезпечення дотримання може бути ускладнене
		Програми регулювання попиту	Необхідні нормативні акти, щоб комунальні підприємства могли отримувати прибуток
		Програми лідерства у державному секторі, включаючи закупівлі	Державні закупівлі можуть збільшити попит на енергоефективну продукцію
		Стимули для енергосервісних компаній (ЕСК)	Чинник успіху: доступ до фінансування третіми сторонами
Промисловість	Більш ефективне застосування електрообладнання кінцевого користування; рекуперація тепло- та електроенергії; рециркуляція та заміна матеріалів; контроль за викидами газів, інших ніж CO_2; та широкий вибір спеціалізованих виробничих технологій; підвищена енергоефективність; УЗВ при виробництві цементу, аміаку та чавуну; інертні електроди для виробництва алюмінію	Надання інформації про контрольні показники; показники економічної ефективності; субсидії, податкові пільги	Можуть бути доцільними стимулювання впровадження технології. Стабільність національної політики має важливе значення з погляду міжнародної конкурентоспроможності
		Дозволи	Передбачувані механізми розподілу дозволів та стабільні сигнали цінорізноманіття, важливі для інвестицій

		Добровільні угоди	Фактори успіху включають: чіткі цілі, базовий сценарій, участь третіх сторін у розробці, перегляді та офіційному проведенні моніторингу, тісне співробітництво між урядом та промисловістю
Сільське господарство	Більш досконале управління орними та пасовищними землями для збільшення зберігання вуглецю в ґрунті; відновлення культивованих торф'яних ґрунтів та деградованих земель; покращені методи обробітку рису, а також раціональне управління тваринництвом, прибирання, зберігання та використання гною для зниження викидів CH_4; більш досконалі методи внесення азотних добрив, зниження викидів N_2O; спеціалізовані енергетичні культури, що використовуються для заміни копалин палива; підвищена енергоефективність; підвищення врожайності сільськогосподарських культур	Фінансові стимули та нормативні акти для покращення землеустрою, утримання вуглецю у ґрунті, ефективного використання добрив та іригації	Можуть стимулювати синергізм із заходами, спрямованими на сталий розвиток та зі зменшенням уразливості до зміни клімату, долаючи таким чином бар'єри для здійснення
Лісове господарство/ ліси	Лісонасадження; лісовідновлення; керування лісовим господарством; скорочення обезліснення; раціональне використання лісоматеріалів; використання продукції лісового господарства у біоенергетиці для заміни викопних видів палива; покращення порід дерев для збільшення продуктивності біомаси та поглинання вуглецю; покращені технології дистанційного зондування для аналізу потенціалу поглинання вуглецю рослинністю та ґрунтом та складання карт змін у землекористуванні	Фінансові стимули (національні та міжнародні) для розширення площі лісів, зменшення обезліснення, охорони та раціонального використання лісів; нормативні акти землекористування та забезпечення їх дотримання	Обмеження включають відсутність інвестиційного капіталу та питання землеволодіння. Можуть допомогти боротьбі з бідністю

Відходи	Рекуперація CH_4 із місць поховання відходів; спалювання відходів із рекуперацією енергії; компостування органічних відходів; контрольована обробка стічних вод; рециркуляція та мінімізація відходів; біосховища та біофільтри для оптимізації окислення CH4	Фінансові стимули для покращення обробки відходів та стічних вод	Можуть стимулювати впровадження технології
		Стимули або зобов'язання щодо відновлюваних джерел енергії	Наявність недорого палива на місцях
		Нормативні акти з питань обробки відходів	Найбільш ефективно застосовуються на національному рівні спільно зі стратегіями забезпечення дотримання

Додаток Б

Приклади планованої адаптації галузей народного господарства до змін клімату

Сектор	Варіант/стратегія адаптації	Вихідна політична основа	Ключові перешкоди та можливості для здійснення (звичайний шрифт = перешкоди; курсив = можливості
Водне господарство	Розширення збирання дощового стоку; методи акумулювання, охорона та раціональне використання вод; повторне використання води; опріснення води; ефективність водокористування та іригації	Національна політика щодо води та раціональне комплексне використання водних ресурсів; боротьба з небезпечними явищами, пов'язаними з водою;	Фінансові, кадрові та фізичні бар'єри; комплексне раціональне використання водних ресурсів; *спільні дії з іншими секторами*
Сільське господарство	Коригування строків сівби та відбору сортів сільськогосподарських культур; зміщення зон вирощування культур; покращення організації землеустрою, як то, боротьба з ерозією та захист ґрунтів за допомогою захисних лісосмуг	Політика в галузі НДР; інституційна реформа; реформа системи землеволодіння та земельна реформа; підготовка кадрів; нарощування потенціалу; страхування врожаю сільськогосподарських культур; фінансові стимули, приміром, субсидії та податкові пільги	Технологічні та фінансові обмеження; доступ до нових сортів; ринки; *збільшення вегетаційного періоду у вищих широтах; доходи від «нової» продукції*
Інфраструктура урбоекосистеми (включаючи прибережні зони)	Переселення; морські греблі та захисні споруди від штормових нагонів; закріплення дюн; відведення земель та створення водно-болотних угідь як буферу проти підвищення рівня моря і затоплення; охорона існуючих природних бар'єрів	Стандарти та нормативні акти, які враховують у проєктах фактори зміни клімату; політика у сфері землекористування; будівельні норми і правила; страхування	Фінансові та технологічні бар'єри; наявність районів для переселення; *комплексна політика та управління; узгодженість з цілями сталого розвитку*
Охорона здоров'я	Плани дій «спека-здоров'я»; медичне обслуговування у надзвичайних ситуаціях; санітарно-епідеміологічний нагляд та контроль щодо хвороб, чутливих до клімату; безпечна вода та покращені санітарні умови	Політика в галузі охорони здоров'я, яка враховує кліматичні ризики; зміцнення охорони здоров'я; співробітництво на регіональному та міжнародному рівнях	Межі опірності людини (уразливі групи); обмеження у рівні знань; фінансовий потенціал; *удосконалення служби охорони здоров'я; покращення якості життя*

Туризм	Диверсифікація туристських ресурсів та доходів від туризму; переміщення лижних трас на великі висоти та на льодовики; використання снігогенераторів	Комплексне планування (наприклад, пропускна здатність; зв'язки з іншими секторами); фінансові стимули, як то, субсидії та податкові пільги	Привабливість/маркетинг нових туристських ресурсів; фінансові та матеріально-технічні проблеми; потенційні негативні наслідки для інших секторів (наприклад, використання снігогенераторів може підвищити споживання енергії); *дохід від «нових» ресурсів; залучення ширшої групи зацікавлених осіб*
Транспорт	Реорганізація/переміщення; стандарти проєктування та планування для автомобільних шляхів та залізниць, а також іншої інфраструктури, для вирішення проблеми потепління та дренажу	Облік факторів зміни клімату в рамках національної політики в галузі транспорту; інвестування в НДР для особливих ситуацій, наприклад, у районах вічної мерзлоти	Фінансові та технологічні бар'єри; наявність менш уразливих маршрутів; *більш досконалі технології та інтеграція з ключовими секторами (наприклад, енергетикою)*
Енергетика	Зміцнення інфраструктури лінії електропередач та розподілу; прокладання підземних кабелів для комунальних підприємств; енергоефективність; використання поновлюваних джерел енергії; зменшення залежності від безальтернативних джерел енергії	Національна енергетична політика, нормативні акти, податкові та фінансові стимули для заохочення використання альтернативних джерел; врахування факторів зміни клімату у стандартах проєктування	Доступ до реальних альтернатив; фінансові та технологічні бар'єри; прийняття нових технологій; *стимулювання нових технологій; використання місцевих ресурсів*

Адаптація ЄС до змін клімату та стійкі урбоекосистеми
Навчальний посібник

Яковшина Т.Ф.

Умов. друк. арк.: 5,7.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

2023 рік

Україна, 49005, м. Дніпро, вул. архітектора Олега Петрова, 24а, офіс В-208