

ІНДИКАТОРИ ЧУТЛИВОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

Дядін Д.В.¹, Дрозд О.М.^{1,2}, Свергуненко А.С.¹

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків

²Estación Experimental de Aula Dei, EEAD-CSIC
Avenida Montañana, 1005, 50059, Zaragoza, España
dmytro.diadin@kname.edu.ua, olena.drozd@kname.edu.ua,
anna.svergunenko@kname.edu.ua, odrozd@eead.csic.es

Сталий розвиток територій в умовах зміни клімату потребує застосування підходів кліматоорієнтованого екологічного врядування. Для підвищення кліматичної стійкості міст, розробки та впровадження адаптаційних заходів необхідною є попередня детальна оцінка ризиків та вразливості природних ресурсів та інфраструктурних складових міст до зміни клімату. Багато міст світу мають подібні ризики та вразливість до зміни клімату, тому для спрощення обміну досвідом, інтегрування наявних підходів, практик, адаптаційних заходів доцільним є застосування уніфікованих підходів оцінки ризиків та вразливості до зміни клімату. Ризик і вразливість до зміни клімату рекомендовано оцінювати за індикаторами перебування під дією, чутливості та адаптаційної здатності. Індикаторні оцінки ризиків і вразливості урбоєкосистем дають змогу об'єктивізувати та деталізувати потенційно небезпечні наслідки зміни клімату, що є необхідним для протидії наслідкам зміни клімату. У статті розглядається одна з ключових сучасних проблем міських територій – збереження водних ресурсів в умовах зміни клімату. Визначення чутливості водних об'єктів до кліматичних явищ є необхідною складовою розробки заходів з адаптації та оцінки їх ефективності. Внаслідок дії кліматичних загроз, які включають підвищення температури повітря, зміну режиму випадіння атмосферних опадів, зростання частоти й інтенсивності стихійних погодніх явищ, підняття рівня моря, формуються ланцюжки прямого та опосередкованого впливу на стан і якість водних ресурсів на урбанізованих територіях. У роботі комплексно розглянуто чутливість поверхневих і підземних водних ресурсів міських територій та запропоновано переліки індикаторів оцінювання чутливості за трьома категоріями – гідрологічна, соціально-економічна та екологічна. Для кожної з категорій обґрунтовано доцільність кожного з індикаторів з урахуванням специфіки функціонування міських територій. Запропонована система оцінювання чутливості водних ресурсів міст до зміни клімату дозволяє удосконалити підходи до оцінки ризиків і вразливості для подальшого обґрунтування, розробки і впровадження кліматоорієнтованих адаптаційних заходів та підвищення кліматичної стійкості міст. *Ключові слова:* сталий розвиток, водні ресурси, міські території, екосистемні функції, чутливість, зміна клімату, індикатори, система оцінювання.

Indicators of sensitivity of water resources of urban areas to climate change. Diadin D., Drozd O., Sverhunenko A.

Sustainable development in the context of climate change requires approaches of climate-oriented environmental governance. To increase the climate resilience of urban areas and to develop and implement adaptation measures, a detailed preliminary assessment of risks and vulnerability of natural resources and infrastructural elements of urban areas to climate change is essential. Many cities in the world have similar risks and vulnerability to climate change, so to facilitate exchange of experience, integration of available approaches, practices and adaptation measures, it is appropriate to apply harmonized approaches for assessing risks and vulnerability to climate change. Risk and vulnerability to climate change are recommended to assess by indicators of exposure, sensitivity and adaptive capacity. Indicators-based assessments of risks and vulnerability for urban ecosystems enable to objectify and specify potentially hazardous effects of climate change, which is essential for mitigation to climate change impacts. The article considers one of crucial current problems of urban areas – water resources preservation in the context of climate change. Determination of water bodies sensitivity to climate effects is an essential part of developing adaptation measures and evaluating its effect. As a result of climatic hazards, including increasing air temperature, changing precipitation regime, increasing frequency and intensity of natural hazardous weather events, sea level rising, a chains of direct and indirect impact on the state and quality of water resources in urbanized areas are formed. The sensitivity of surface and groundwater on urban areas is comprehensively discussed and the lists of indicators for assessing sensitivity in three categories – hydrological, socio-economic and ecological – is proposed. For each category, feasibility of each indicator has been justified considering the specifics of urban areas functioning. Proposed assessment of urban water resources sensitivity to climate change enables to improve the approaches to risk and vulnerability assessment for further substantiation, developing and implementing climate-oriented adaptation measures and improving the urban climate resilience. *Key words:* sustainable development, water resources, urban areas, ecosystem functions, sensitivity, climate change, indicators, assessment methodology.

Постановка проблеми. Наразі 56% населення світу (4,4 мільярда мешканців) проживає у містах [1]. Очікується, що ця тенденція збережеться, і до кінця 2050 року кількість міського населення збільшиться більше ніж вдвічі. Спеціальна доповідь Міжнародної групи експертів зі зміни клімату 1.5° [2] визначає урбанізацію ключовим чинником викидів парнико-

вих газів. На частку міст припадає 71–76% викидів CO₂ від глобального кінцевого споживання енергії [3, 4]. Міжнародна спільнота науковців і практиків працює над широким спектром управлінських і технологічних рішень пом'якшення наслідків зміни клімату і адаптації, що включають розвиток зеленої та блакитної інфраструктури, підвищення потенці-

алу екосистемних послуг і біорізноманіття в містах, широке впровадження природоорієнтованих технологій, міське сільське господарство, сталу транспортну систему, протидію забрудненню, сприяння розвитку відновлюваної енергетики. Ці заходи вважають шляхами розвитку кліматично стійких міст та підвищення їхньої придатності для життя відповідно до Цілі сталого розвитку 11 – Сталий розвиток міст і громад [5].

Поточні та прогнозовані наслідки впливу зміни клімату варіюють у різних містах, залежно від наявних загроз, масштабу впливу та вразливості міста. Більшість впливів пов'язують зі змінами періодичності та тривалості проявів екстремальних погодних явищ. Хвилі спеки, сильні опади, повені, посухи визначено найсерйознішими небезпеками, що пов'язані із кліматом і погодою. Очікується, що частота, інтенсивність та масштаби їх проявів будуть зростати [6, 9, 27]. Серед можливих наслідків для міст – посилення ефекту міського острова тепла, що збільшує ризики для вразливих груп населення, зміна обсягів і якісного складу поверхневого стоку, підтоплення, затоплення узбережжя та берегова ерозія, дефіцит води та надмірна експлуатація водних ресурсів, вразливості геологічного і ґрунтового середовища, біорізноманіття, екосистемних послуг, ймовірності природних пожеж, стійкості міської інфраструктури, поширення захворюваності на трансмісивні хвороби та інші. Вплив зміни клімату на міські території є широкомасштабним і може мати руйнівні наслідки.

Незважаючи на прогнозовані ризики, багато міст досі не вирішили проблему протидії, пом'якшення наслідків та адаптації до зміни клімату. Серед причин – відсутність у містах відповідної політики та планів дій, що зумовлено недостатністю об'єктивної оцінки ризиків та вразливості впливу зміни клімату на компоненти урбосистеми. Як наслідок – неадаптованість нормативно-правових актів у сфері містобудування та охорони довкілля до зміни клімату; повільне реагування на наслідки впливу зміни клімату через брак потенціалу та ресурсів; недостатня поінформованість громадськості про мінливість клімату та шляхи пом'якшення небезпек, спричинених зміною клімату [6, 7].

Багато міст світу мають подібні ризики та вразливість до зміни клімату. Тому розуміння поточних тенденцій є необхідним для запобігання потенційним збиткам, пов'язаним зі зміною клімату, і мінімізації впливу самих міст на стан довкілля на глобальному рівні. Постає нагальна потреба оцінки ризиків та вразливості до зміни клімату міського середовища, оскільки це сприятиме обміну знаннями та досвідом адаптації для широкомасштабного впровадження в різних регіонах.

Актуальність роботи. Водні ресурси, виконуючи численні екологічні і соціальні функції, мають особливу цінність у містах. Стратегією екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні до

2030 року водні ресурси визначено одним з пріоритетних соціально-економічних секторів, для яких необхідним є оцінювання ризиків та вразливості до зміни клімату. На основі оцінки формуються плани дій з адаптації до зміни клімату, враховуються поточні і прогнозовані наслідки зміни клімату в стратегічному плануванні на національному, регіональному та місцевому рівнях та під час будівництва об'єктів інфраструктури [8].

В умовах зміни клімату швидка урбанізація та економічний розвиток призводять до зростання пресингу на водні ресурси. Це проявляється в значному попиті на якісну питну воду, перебоях з водопостачанням, виснаженні підземних вод, забрудненні поверхневих водних об'єктів тощо. З точки зору управління ризиками, складна структура міст утруднює оцінювання ризиків та вразливості до зміни клімату та планування адаптації на рівні міста [9]. Проблема збереження водних ресурсів стає все більш актуальним питанням для багатьох міст світу. Тому оцінка ризиків та вразливості впливу зміни клімату на водні ресурси та інші компоненти урбанізованого довкілля з урахуванням специфіки впливу організаційно-функціональної структури міст є особливо актуальною.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Оцінка ризиків та вразливості впливу зміни клімату на водні ресурси міст є необхідною для сталого розвитку територій і відповідає Цілям сталого розвитку 6 – Чиста вода та належні санітарні умови, 11 – Сталий розвиток міст і громад, 13 – Пом'якшення наслідків зміни клімату, основним положенням Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року [8], Водної стратегії України на період до 2050 року [10], Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [11], зорема цілі 2 – Забезпечення сталого розвитку природно-ресурсного потенціалу України, в якій з поміж іншого наголошено про необхідність зменшення негативного впливу процесів урбанізації на навколишнє природне середовище та забезпечення сталого управління водними ресурсами за басейновим принципом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні міста є мозаїчними структурами, де житлова, промислова та комунальна інфраструктури тісно переплітаються зі штучними та природними екосистемами. Фрагментація міського простору стирає межі між різними екосистемами і міське середовище стає єдиною урбоекосистемою, в якій зелена та блакитна інфраструктура відіграють ключову біоценотичну роль [12, 13]. Частка блакитної інфраструктури у загальній площі міста часто значно нижча, ніж у природних умовах, однак, це є індивідуальною особливістю кожного окремого міста або різних районів одного і того самого міста. Послуги

водних екосистем залежать від клімату, географічного розташування, економічних і культурних умов суспільства. Різноманітні характеристики блакитної інфраструктури в містах (тип водойми, розмір водотоку, морфометричні параметри, природне різноманіття, генезис, поточний екологічний стан, розташування на території міста тощо) створюють певний потенціал і діапазон надання екосистемних функцій: біоценотичних, фітоценотичних, гідрологічних, біогеохімічних, мікрокліматичних, ландшафтних і т.і. та відповідних груп екосистемних послуг. Концентрація населення і забудови, зміна природного ґрунтового покриву, збільшення частки водонепроникних поверхонь, підвищений вміст хімічних і токсичних біогенних речовин негативно впливають на потенціал надання та підтримки екосистемних послуг водних ресурсів у містах [12]. Особливо гостро ця проблема постає для територій з низьким рівнем забезпеченості водними ресурсами і високим ступенем вразливості до зміни клімату, до яких належить і Україна [14]. Аналітичні оцінки впливу зміни клімату на формування поверхневого річкового стоку для умов України показують ймовірність двох протилежних тенденцій – зменшення водного стоку і, відповідно, зменшення запасів місцевих водних ресурсів, або навпаки, збільшення стоку в окремі сезони та формування умов надзвичайних екологічних ситуацій (катастрофічні паводки, повені, підтоплення тощо) [14].

Згідно існуючих методологічних підходів [15, 19, 20] ризик і вразливість до зміни клімату рекомендовано оцінювати за індикаторами перебування під дією, чутливості та адаптаційної здатності. Наукові дослідження показали дієвість застосування індикаторного підходу для цільового оцінювання ризиків і вразливості, особливо при зосередженні на одній або кількох кліматичних загрозах, що зумовлюють певний ризик чи вразливість аналізованої системи (тепловий стрес, повені [21, 22, 23]). Застосування індикаторного підходу для оцінювання широкого переліку ризиків і вразливості великих систем часто має методологічні складності та обмеження через їх специфічність та відсутність стандартизованих підходів [24].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наразі в Україні відсутній затверджений комплексний перелік показників для оцінки ризиків та вразливості урбанізованих територій до зміни клімату, який би відповідав стандартизованим міжнародним підходам [19, 20] та затвердженим рекомендаціям [15]. Наявні різноманітні науково-практичні підходи, що націлені на дослідження міських індикаторів оцінки ризиків та вразливості до впливу зміни клімату [24, 25, 26] не уніфіковані, мають пошуковий характер та часто не враховують ризики і вразливість до зміни клімату природних ресурсів міст. Вразливість водних ресурсів міст до зміни клімату

є недооціненою і потребує розробки індикаторного підходу для об'єктивної оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату.

Новизна. На основі комплексного аналізу актуальних методологічних підходів запропоновано набір можливих індикаторів чутливості водних ресурсів міст до впливу зміни клімату для підвищення об'єктивності оцінки потенційних ризиків та вразливості з метою розробки, пріоритезації й оцінювання ефективності адаптаційних заходів для міських територій.

Методологічне або загальнонаукове значення. При комплексному оцінюванні потенційних ризиків та вразливості міст до зміни клімату важливо усвідомлювати зв'язки та ступінь взаємодії природних та антропогенних складових урбоекосистеми. Немоżliвість охоплення усіх загроз, ризиків та «секторів» міста кількома універсальними індикаторами потребує розробки переліку потенційних загроз, ризиків та факторів вразливості для кожного з її елементів. У статті запропоновано індикаторний підхід оцінювання чутливості водних ресурсів міських територій до зміни клімату, який розроблено у відповідності до загального методологічного концепту щодо оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату [15]. Даний перелік є гнучким до урахування специфіки використання водних ресурсів кожного окремого міста та може бути удосконалений.

Викладення основного матеріалу. Водні ресурси міських територій зазвичай представлені як поверхневими, так і підземними водними об'єктами. Поверхневі водні об'єкти у містах включають річки, струмки, озера, водосховища і ставки, вода з яких може забиратися для питного водопостачання, господарсько-побутових і технічних потреб. Самі водні об'єкти часто слугують для рекреаційних цілей, можуть використовуватися для водного транспорту та розвитку рибного господарства. Підземні води на територіях міст використовують для питного та технічного водопостачання за допомогою глибоких водозабірних свердловин, приватних колодязів і каптажів джерел – природних виходів підземних вод на поверхню землі, облаштованих для індивідуального водокористування.

У різних містах України характер і частка використання поверхневих і підземних водних ресурсів істотно відрізняються, що, безумовно, має впливати на зміст і підходи до оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату. Зокрема, місто Харків – друге після столиці за кількістю населення – 95% об'єму води для господарсько-питних потреб споживає із поверхневих водних об'єктів (р. Сіверський Донець і канал Дніпро – Донбас). Натомість, в інших обласних центрах, наприклад у Полтаві й Сумах, централізоване питне водопостачання повністю базується на підземних водах артезіанського сеноман-нижньокрейдового водоносного горизонту, який експлуатується

водозабірними свердловинами на глибинах більше 100 м від поверхні землі.

Разом з тим, у будь-якому місті України є річки, у тому числі малі, що мають цінне значення як осередки біорізноманіття та регулятори мікроклімату, а також використовуються для рекреації та оздоровлення містян.

Під час оцінювання ризиків і вразливості до зміни клімату важливо визначити об'єкт або територію оцінювання, які перебувають під дією кліматичних загроз. Оцінка ризиків і вразливості водних ресурсів до зміни клімату, як правило, проводиться для річкових (водозбірних) басейнів [16, 17, 18]. Проте, у разі проведення оцінки для міської території, ми фокусуємося саме на ній, і маємо оцінити стан всіх наявних водних об'єктів, що прямо чи опосередковано використовуються міським населенням. До переліку цих водних об'єктів увійдуть поверхневі та підземні води на території міста, а також водні об'єкти за межами міста у разі наявності систем перекидання води з сусідніх водозбірних басейнів.

Для визначення чутливості водних ресурсів міста до зміни клімату та встановлення індикаторів, якими можна виміряти або об'єктивно оцінити чутливість, на першому етапі необхідно визначити кліматичні загрози, їхні впливи та можливі наслідки для водних об'єктів та міської території в цілому.

Основними кліматичними загрозами для водних об'єктів міст України виступають:

- підвищення температури повітря та пов'язане з цим підвищення величини випаровування;
- зміна кількості атмосферних опадів і розподілу їх по сезонах протягом року;
- зростання частоти й інтенсивності екстремальних погодних явищ (зокрема, сильних злив і повеней);
- підвищення рівня моря внаслідок танення льодовиків і термічного розширення Світового океану (актуально для міст на узбережжі Чорного та Азовського морів).

Впливи кліматичних загроз у світовій практиці прийнято розглядати у вигляді ланцюжків, оскільки зміни майже завжди носять каскадний ланцюговий характер, а їхні наслідки розгалужуються.

Найбільш очевидним ланцюжком негативних впливів кліматичних загроз на водні ресурси міст є зменшення їхньої кількості внаслідок зниження загальних запасів природної вологи в басейні. Підвищення температури повітря та зменшення атмосферних опадів призводить до зниження природного живлення у водному балансі, що виражається у зниженні рівнів води в поверхневих водних об'єктах і статичних рівнів верховодки і першого від поверхні водоносного горизонту. Наслідком цих процесів є дефіцит водних ресурсів для водокористування, що є особливо критичним для міських територій на фоні постійного зростання загальної чисельності міського населення. Крім того, внаслідок дефіциту вологи відбувається деградація водних і водно-болотних екосистем, а також виникають економічні збитки у сферах річкового транспорту, рекреації і туризму, рибальства і рибництва (рисунок 1).

Збільшення загальної кількості атмосферних опадів, зростання частоти випадіння екстремально сильних опадів створює передумови формування повеней, руйнування берегів водотоків та затоплення прибережних територій, таким чином створюючи ризики надзвичайних ситуацій та пов'язаних з ними втрат майна і людського життя (рисунок 2).

Залежно від ландшафтної будови території міста, складу ґрунтового покриву і гірських порід, типу покриття земної поверхні можливими є прояви й інших ланцюжків впливу, пов'язаних із ключовими кліматичними факторами – зміною температури та опадів. Зокрема, наслідками надмірного зволоження може бути активізація небезпечних геологічних процесів на забудованих територіях – зсувів, суфозії, карсту, просідання лесових ґрунтів. Окрім прямої небезпеки для людей та будівель, ці процеси призводять до ландшафтних змін, які відбиватимуться на умовах живлення поверхневих і підземних вод. Крім

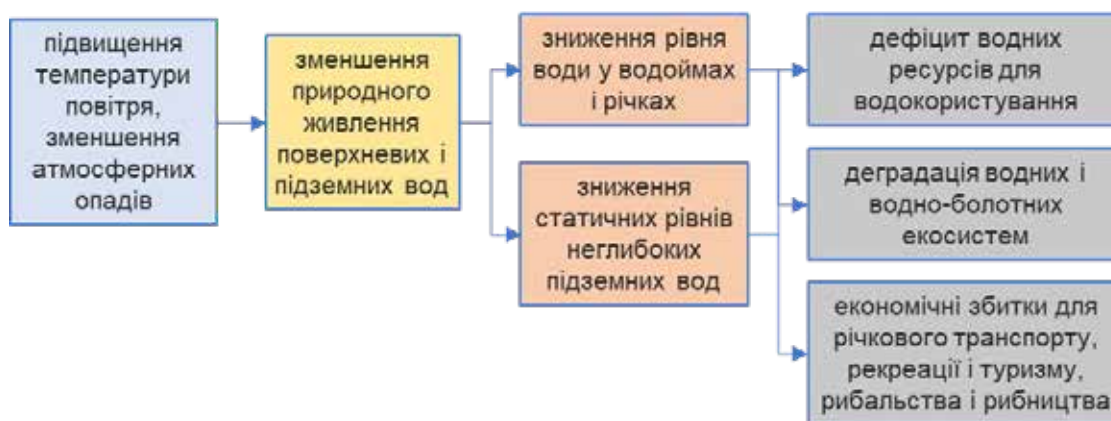


Рис. 1. Ланцюжок впливу зміни клімату на водні ресурси міста, пов'язаний з дефіцитом водних ресурсів

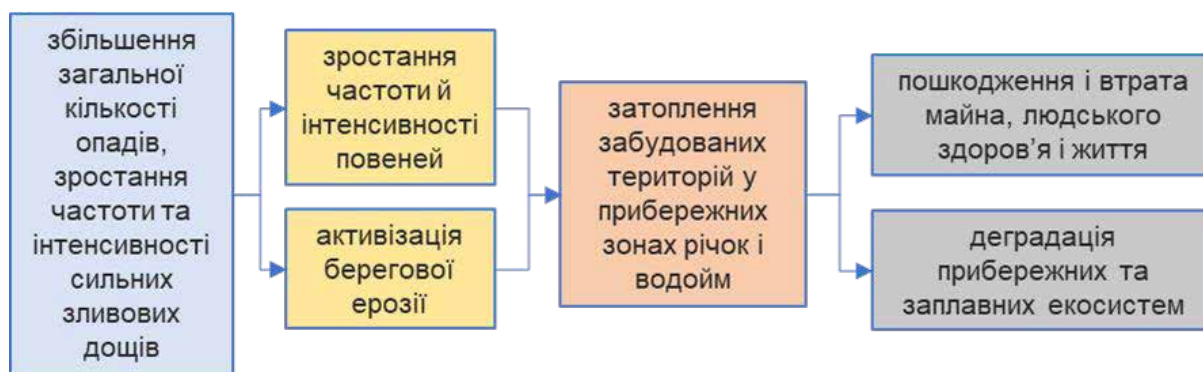


Рис. 2. Ланцюжок впливу зміни клімату на водні ресурси міста, пов'язаний з надмірною кількістю атмосферних опадів

того, сильні зливові опади та надмірно різке танення снігу є факторами посилення ерозії ґрунту, що знижує якість поверхневих вод і сприяє замуленню русел річок через винесення значних об'ємів завислих речовин із поверхневим стоком.

Не менш важливі ланцюжки впливу виникають через дію кліматичних загроз на біорізноманіття водних об'єктів та надання ними екосистемних послуг. Підвищення температури змушує найбільш чутливі види змінювати свої ареали, мігрувати, а також сприяє розповсюдженню інвазійних теплолюбних видів, нехарактерних для даних водних екосистем.

Ретельне складання ланцюжків впливу з урахуванням усіх можливих наслідків є запорукою успішного оцінювання вразливості водних ресурсів міської території та ефективного підбирання заходів із адаптації до зміни клімату.

Відповідно до загально визначених понять, чутливість є ступенем, до якого система зазнає негативного впливу зміни клімату [27].

Залежно від аспектів, що аналізуються, фактори чутливості компонентів довкілля доцільно розділяти за напрямками – фізичні, географічні, екологічні, соціально-економічні та інші. Чутливість водних об'єктів міських територій до зміни клімату ми пропонуємо розглядати за такими напрямками:

- гідрологічна чутливість: показники зміни гідрологічного режиму водного об'єкту (витрата потоку, рівень води) та гідроморфологічні характеристики;
- соціально-економічна чутливість: показники використання води населенням (об'єми забору води, якість води, особливості систем водокористування);
- екологічна чутливість: показники біорізноманіття водних екосистем (екосистемні послуги, ступінь біорізноманіття, наявність цінних видів і оселищ).

Відповідно, для кожної з представлених трьох категорій чутливості необхідно ідентифікувати ключові фактори та індикатори (показники) чутливості. Останні мають бути представлені конкретними кількісними характеристиками для вимірювання ступеню чутливості. У таблиці 1 нижче представ-

лені найважливіші, з нашої точки зору, індикатори гідрологічної чутливості, які пропонуються до використання. Для кожного індикатора вказаний зв'язок з чутливістю: плюс означає, що зі зростанням значення індикатора зростає й чутливість, мінус – навпаки, зв'язок зворотній.

Соціально-економічна чутливість в основному пов'язана з особливостями водокористування в басейні, й, здебільшого, із залежністю населення чи підприємств від водних ресурсів оцінюваного водного об'єкту. Найбільш чутливими системами водокористування слід вважати системи питного та господарсько-побутового призначення, оскільки їхня експлуатація безпосередньо пов'язана з життєво важливими потребами населення та станом його здоров'я. Технічне, рекреаційне та рибогосподарське водокористування не такі критичні, але також мають важливе соціальне та економічне значення, тому мають бути враховані в оцінці чутливості.

У переважній більшості міст України існують умови для комбінування джерел водокористування різних типів. Тому, істотним фактором чутливості є диверсифікованість джерел водокористування на оцінюваній території, яка фактично визначає ступінь залежності населення від водних ресурсів того чи іншого джерела (таблиця 2).

Диверсифікованість джерел водокористування на міській території може бути забезпечена за рахунок: 1) поверхневих водних об'єктів (річок, водосховищ), 2) підземних водоносних горизонтів на різній глибині та 3) водних об'єктів, розташованих поза межами басейну, що оцінюється (трансбасейнове перекидання води). Остання схема водокористування доволі часто практикується у міських населених пунктах України (наприклад, м. Харків – р. Сіверський Донець і канал Дніпро-Донбас, м. Чернівці – р. Прут і р. Дністер та інші).

Напевно, найскладнішими для оцінки факторами чутливості є екологічні, тобто такі, що пов'язані з функціонуванням водного об'єкту як середовища існування рослин і тварин, забезпеченням біорізноманіття та наданням водним об'єктом екосистемних

Гідрологічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обґрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Розмір водного об'єкту/водозбір-ного басейну	Малі річки та водойми більш чутливі до зміни клімату	Відносна площа (% від загальної) водойм з площею водного дзеркала менше 3 га	+
		Відносна довжина (% від загальної) водотоків з площею водозбору менше 10 тис. км ²	+
Буферна здатність заплави знижувати витрату води під час паводків та водопілля	Відсутність прибережної водної рослинності прискорює швидкість потоку під час повеней, зменшує ступінь самоочищення поверхневого і річкового стоку	Відносна довжина (% від загальної) берегів водотоку з плавнями, заростями вищої водної рослинності	-
Трансформованість русла водотоків	Штучне випрямлення русла і закритість берегів набережними сприяє зростанню швидкості потоку під час повеней	Відносна довжина (% від загальної) трансформованих ділянок русла: штучно випрямлених, закритих набережними, підземних каналізованих	+
Порушення умов формування водного стоку в басейні	Наявність ділянок відкритого (незадернованого) ґрунту сприяє ерозії та винесенню завислих речовин з поверхневим стоком	% ділянок відкритого (незадернованого) ґрунту в межах водозбірної площі	+
	Значна площа непроникних поверхонь на забудованих територіях знижує інфільтрацію та сприяє накопиченню надлишкового поверхневого стоку	% непроникних поверхонь (дахи будівель, дороги, автостоянки) в межах водозбірної площі	+
	На територіях, вкритих природною рослинністю, зростає буферна здатність щодо нівелювання коливання у водному балансі	Частка територій, вкритих природною рослинністю, від загальної площі водозбірного басейну, %	-
Ризик повені	Наявність гідрологічних і кліматичних передумов виникнення значної повені підвищує чутливість	Наявність історичних даних щодо прояву значних повеней із затопленням заплави річки	+
		Існування ризику затоплення заплави річки за результатами гідрологічного і кліматичного моделювання максимальних значень річкового стоку	+
Ризик підняття рівня моря	Наявність гідрологічних і кліматичних передумов підняття рівня моря в поєднанні з низьким рівнем розташування берегової забудови підвищує чутливість	Існування ризику затоплення прибережної зони за результатами гідрологічного і кліматичного моделювання максимальних значень підняття рівня моря	+
Ресурси підземних вод	Наявність водоносних горизонтів із високою водовіддачею та значними запасами води сприяють низькій чутливості	Реальна або потенційна забезпеченість місцевих потреб ресурсами підземних вод через каптажі джерел, колодязі або водозабірні свердловини, %	-

послуг. Це зумовлено складністю кількісного вимірювання показників, що характеризують стан водних екосистем. Але важливо наголосити, що будь-який поверхневий водний об'єкт на території міста, навіть значно трансформований, є певним осередком біорізноманіття, виступає складовою екомережі

та створює екосистемні послуги. Підземні води на ділянках свого розвантаження у вигляді джерел і джерельних зон також забезпечують функціонування екосистем, залежних від підземних вод [28].

Найважливішими показниками екологічної чутливості водних об'єктів можна вважати наявність

Екологічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обґрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Рідкісність видів і цінність оселищ	Наявність рідкісних видів рослин і тварин та зникаючих типів оселищ у водних екосистемах підвищує їхню чутливість	Кількість рідкісних видів	+
		Наявність цінних і зникаючих оселищ	+
Стабільність кисневого режиму	Вміст розчиненого кисню та його коливання протягом року є одним із визначальних факторів розвитку гідробіонтів	Переважає режим недостатнього насичення	+
Залежність екосистем від підземних вод	Залежність водної екосистеми від підземних вод у певній мірі знижує її чутливість до кліматичних показників через більшу стабільність та інертність режиму підземних вод	Наявність екосистем, залежних від підземних вод	-

рідкісних видів рослин і тварин у водних екосистемах, а також зникаючих оселищ із переліку в Бернській конвенції, що потребують спеціальних заходів для їх збереження [29] (таблиця 3).

Іншим значним фактором чутливості водним екосистем до зміни клімату є інтенсивність водообміну у водному об'єкті. Вона визначає його температурний режим та насиченість води киснем, що в свою чергу є життєво важливим для розвитку переважної більшості гідробіонтів [30].

Залежно від конкретних умов, не всі з вищевказаних індикаторів чутливості будуть однаково актуальні для певної міської території. Проте, необхідно оцінити ступінь прояву кожного з них. Як рекомендують найкращі практики [19, 20], для кількісного визначення індикаторів необхідно використовувати єдину шкалу відносних значень від 0 до 1 для можливості коректного порівняння індикаторів між собою та урахування їхнього внеску в загальну чутливість і вразливість до зміни клімату. Для спрощення системи оцінювання рекомендуємо для кожного індикатора категоризувати діапазон значень, який може набувати індикатор для оцінюваної території. Категорії відповідатимуть різним рівням чутливості, наприклад низька-середня-висока. Межі значень індикатора для кожної категорії необхідно вибирати на основі експертних думок з урахування місцевих знань. Наприклад, такий індикатор екологічної чутливості, як наявність рідкісних видів рослин і тварин у водних екосистемах, можна категоризувати таким чином:

– відсутні відомості щодо наявності рідкісних видів – низький рівень чутливості, значення показника 0;

– є певні ознаки або передумови для існування рідкісних видів – середній рівень чутливості, значення показника 0,5;

– наявність рідкісних видів задокументована в результаті польових обстежень – високий рівень чутливості, значення показника 1.

Якщо індикатор представлений числовими значеннями, наприклад, чисельність населення, що мешкає в зоні ризику затоплення через повінь, категоризація відбувається для діапазону його значень – від мінімального до максимального.

Висновки. Збереження водних ресурсів в умовах зміни клімату є стратегічно важливим завданням для міських територій. Крім основного призначення – використання води для питних, господарсько-побутових, технічних та інших потреб – водні ресурси забезпечують збереження біорізноманіття та підтримують мікроклімат на забудованих територіях. Наявність достатніх площ водних об'єктів у місті сприяє зниженню температури повітря, послабленню міського острова тепла та підвищенню вологості повітря. Разом з тим, водні ресурси міст є уразливими до зміни клімату завдяки переважно прямому зв'язку їхнього живлення з режимом випадіння атмосферних опадів і температурою повітря.

Для подолання негативних наслідків зміни клімату та ефективної адаптації міського середовища необхідно розуміти вразливість водних ресурсів міста. Оцінка вразливості до зміни клімату передбачає визначення чутливості наявних водних об'єктів до кліматичних загроз, яка в свою чергу оцінюється з використанням інформативних та релевантних індикаторів. Нами запропоновані набори індикаторів чутливості для трьох категорій – гідрологічної, соціально-економічної та екологічної, які охоплюють всі ключові аспекти функціонування та використання водних об'єктів на території міст. Важливим аспектом вважаємо рекомендацію комплексно розглянути місцеві водні ресурси як сукупність підземних і поверхневих вод, адже для багатьох міст України потенціал використання підземних вод часто залишається недооціненим.

Запропоновані індикатори гідрологічної чутливості характеризують гідрологічний режим водних об'єктів, гідроморфологічні умови та зміну якості

Таблиця 2

Соціально-економічна чутливість водного середовища міст до зміни клімату

Фактор чутливості	Обґрунтування	Індикатор (показник) чутливості	Зв'язок з чутливістю
Типи водокористування	Співвідношення різних типів водокористування визначає ступінь цінності водних ресурсів для населення. Чим вище частка питного та господарсько-побутового користування, тим вище чутливість	Частка питного та господарсько-побутового водокористування водним об'єктом, %	+
Диверсифікованість джерел водокористування	Чим більше різних джерел водокористування (поверхневі водойми, різні водоносні горизонти), тим менше чутливість до зміни водних ресурсів	Кількість джерел водокористування за водними об'єктами різних типів: поверхневі водозабори (у тому числі трансбасейнове перекидання води), колодязі, каптажі джерел, артезіанські свердловини (з урахуванням глибини водоносного горизонту)	-
Водосмне споживання	Підприємства з водосмним виробництвом споживають великі об'єми води і залежать від кількості доступних водних ресурсів	Наявність водосмних підприємств	+
Населення території	Чим більша кількість людей, що мешкає на території та споживає водні ресурси та їх екосистемні послуги, тим вище чутливість	Чисельність населення на водозбірній площі, осіб	+
		Відносна чисельність населення (у % від загальної), що мешкає в прибережних зонах	+
Збитки від затоплення	Перебування постійного населення та будівель у прибережній зоні річки або моря підвищує ризики збитків внаслідок повені або підняття рівня моря	Наявність житлової забудови, інфраструктури, промислових об'єктів у зоні можливого затоплення (розміри зони необхідно визначати моделюванням за кліматичними сценаріями)	+
Збитки від обміління	Зниження рівня води в річці та її обміління призводять до збитків у сфері річкового транспорту, рекреації та рибогосподарства	Наявність активної діяльності у сфері річкового транспорту, рекреації та рибогосподарства	+

води під впливом зміни живлення і порушення водного балансу внаслідок зміни клімату. Індикатори соціально-економічної чутливості враховують аспекти водокористування, залежності населення і виробництва від місцевих водних ресурсів, а також загрози щодо збитків і втрат внаслідок дії кліматичних явищ на режим водних об'єктів. Індикатори екологічної чутливості визначають цінність водних об'єктів як осередків біорізноманіття та постачальників екосистемних послуг, що є не менш важливим, ніж економічне значення водних ресурсів.

Наведені переліки індикаторів пропонується використовувати при оцінюванні ризиків і вразли-

вості до зміни клімату водних ресурсів на міських територіях у рамках реалізації положень Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату в Україні на період до 2030 року.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень рекомендовано використовувати експертам із проведення оцінки ризиків і вразливості до зміни клімату та розробки заходів з адаптації на міських територіях. Ці роботи є складовою планів розвитку територій, планів дії зі сталого енергетичного розвитку та клімату міських громад і інших кліматоорієнтованих стратегічних документів.

Література

1. Urban development. Overview. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment> (дата звернення: 11.07.2023)
2. Initiatives in the area of human settlements and adaptation. Summary report by the secretariat. Bonn. 2017. URL: <https://unfccc.int/documents/9664> (дата звернення: 11.07.2023)
3. Global Warming of 1.5°C an IPCC special report. 2018. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/download/> (дата звернення: 17.07.2023)
4. Cities and climate change : global report on human settlements. 2011 / United Nations Human Settlements Programme. 300 p. URL: <http://www.unhabitat.org/grhs/2011> (дата звернення: 12.07.2023)

5. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. URL: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf (дата звернення: 12.07.2023)
6. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/> (дата звернення: 08.07.2023)
7. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office. 2021. URL: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/services/government/met-office_climate-change-impacts-for-ukraine_report_12dec2021_ukrainian.pdf (дата звернення: 10.07.2023)
8. Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-r#Text> (дата звернення: 10.07.2023)
9. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change /Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
10. Про схвалення Водної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2022 р. № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-r#Text> (дата звернення: 10.07.2023)
11. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року від 28 лютого 2019 р. № 2697-VIII / Верховна Рада України. Відомості Верховної Ради України. 2019. № 16. Ст.70. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> (дата звернення: 10.07.2023)
12. Jakubiak, M., Chmielowski, K. Identification of urban water bodies ecosystem services. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiecius*, 2020. № 19 (3). P. 73–82. DOI: <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2020.19.3.73>
13. Bolund, P. and Hunhammar, S. Ecosystem Services in Urban Areas. *Ecological Economics*, 1999. № 29. P. 293–301. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0)
14. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (резюме дослідження). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Під ред. Садогурської С.С. Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021. 32 с.
15. Про затвердження Методичних рекомендацій для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату: Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023 № 386. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0386926-23#Text> (дата звернення: 02.07.2023)
16. Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds. ESSA Technologies Ltd, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2013. URL: <https://www.cakex.org/documents/tools-climate-change-vulnerability-assessments-watersheds> (дата звернення: 21.07.2023)
17. Мартинюк М.О., Овчарук В.А. Просторова і часова мінливість максимального стоку в басейні вісли в умовах кліматичних змін. *Екологічні науки*. № 3 (48). С. 148–155. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.3-48.24>
18. Осипов В.В., Осадча Н.М., Осадчий В.І. Кліматичні зміни та водні ресурси басейну Десни до середини XXI століття. *Доповіді Національної академії наук України*. 2021. № 2. С. 71–81.
19. The Vulnerability Sourcebook – Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. GIZ, adelphi, EURAC. Eppelheim, 2014. 180 pp.
20. ISO 14091:2021 – Adaptation to climate change – Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment. ISO/TC 207/SC 7. 39 p.
21. Dugord, P.-A., Lauf, S., Schuster, C., Kleinschmit, B. Land use patterns, temperature distribution, and potential heat stress risk – the case study Berlin, Germany. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2014. Vol. 48. P. 86–98. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2014.07.005>
22. Koks, E.E., Jongman, B., Husby, T.G., Botzen, W.J.W., 2015. Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management. *Environmental Science and Policy*. Vol. 47. P. 42–52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013>.
23. Babanawo D., Mattah P.A.D., Agblorti, S.K.M., Brempong E.K., Mattah M.M., Aheto, D.W. Local Indicator-Based Flood Vulnerability Indices and Predictors of Relocation in the Ketu South Municipal Area of Ghana. *Sustainability* 2022, Vol. 14. P. 56–98. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14095698>
24. Шевченко О., Власюк О., Ставчук І., Ваколук М., Ілляш О., Рожкова А. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК). Муфлаер, Київ. 2014. 74 с.
25. Оцінка вразливості та заходи з адаптації до зміни клімату міст: Львів, Одеса, Хмельницький та Ужгород. URL: <https://ucn.org.ua/?p=3201> (дата звернення: 12.07.2023)
26. Оцінка вразливості до зміни клімату Рівненської громади та рекомендації щодо заходів з адаптації. URL: https://ecoclubrivne.org/adaptation_research_rivne/ (дата звернення: 18.07.2023)
27. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. URL: <https://ucn.org.ua/?p=3201> (дата звернення: 18.07.2023)
28. Jakem A. J., Barreteau O., Hunt R.J., Rinaudo J. D., Ross A. Groundwater De-pendent Ecosystems: Classification, Identification Techniques and Threats. *Integrated Groundwater Management*. 2016. P. 313–346. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23576-9_13 (дата звернення: 15.07.2022)
29. Resolution No. 4 (1996) listing endangered natural habitats requiring specific conservation measures. URL: <https://rm.coe.int/16807469e7> (дата звернення: 15.07.2022)
30. Осадчий В.І., Осадча Н.М. Кисневий режим поверхневих вод України. *Наукові праці українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту* 2007. Вип. 256. С. 265–285.