

COST EFFECTIVE ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE AT THE COMMUNITY LEVEL IN UKRAINE

Andriy Demydenko¹, Mark Zheleznyak², Olexiy Ishchuk³

ЕКОНОМІЧНО ЕФЕКТИВНА АДАПТАЦІЯ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ НА РІВНІ ГРОМАД В УКРАЇНІ

Андрій Демиденко, Марк Железняк, Олексій Іщук

Abstract. At the beginning of the 21st century, when it became clear that humanity would feel the effects of climate change mainly through water, research of the Institute of Mathematical Machines and System Problem of the National Academy of Sciences of Ukraine which modelled the spread of the Chernobyl disaster consequences in the aquatic environment, was also aimed at water modeling of the adaptation to climate change in Ukraine. The article shows how mathematical modeling of water resources can help develop the most cost-effective proactive adaptation measures at the community level — early warning of communities about extreme weather and reducing the impact / consequences of extreme floods.

Keywords: adaptation, climate change, Disaster Risk Reduction, Early Warning Systems, water modeling

Анотація. На початку 21 століття, коли стало зрозуміло, що наслідки зміни клімату людство буде відчувати головним чином через воду, дослідження Інституту проблем математичних машин і систем Національної академії наук України, що набув великого досвіду у моделюванні розповсюдження наслідків Чорнобильської катастрофи у водному середовищі, були спрямовані на моделювання ролі води в адаптації до зміни клімату в Україні.

В статті показано, як математичне моделювання водних ресурсів може допомогти в розробці найбільш економічно ефективних проактивних адаптаційних заходів на рівні громад — ранньому попередженні громад про екстремальну погоду та зменшенні впливів/наслідків екстремальних паводків.

Ключові слова: адаптація, зміна клімату, скорочення ризиків стихійних лих, ранне попередження, математичне моделювання водних ресурсів

¹ Instytut problem matematychnykh mashyn i system, Natsionalna akademiia nauk Ukrainy, andriydemidenko@gmail.com

² Institute of Environmental Radioactivity at Fukushima University, Japan

³ Tsentr HIS Analitik

Вступ

Уряд та Міндовкілля України запланували в 2022 році «оцінити вразливість секторів до наслідків зміни клімату та створити відповідні плани з їх адаптації» (дивись рубрику #Кліматична Політика України). Хоча ще минулого року Уряд України записав в оновленому Національно визначеному внеску (НВВ) до Паризької угоди, що не бачить супутніх вигод від адаптації для пом'якшення наслідків зміни клімату (ЗК). З чим це пов'язано?

Одніє з причин, на наш погляд, було те, що Уряд не почув до конференції в Глазго численних рекомендацій щодо того, де будуть найбільші наслідки від ЗК і де, відповідно, можна очікувати найбільших вигод від адаптації до ЗК.

В світі дослідження наслідків ЗК в різних секторах економіки ведуться давно і можна було б просто скористатися їх висновками, але звіти Міжурядової панелі зі ЗК (IPCC) в Україні мало хто читає. Зокрема, 5й звіт IPCC (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>) вже давно прямо вказав, що головні наслідки ЗК для Європи відчуватимуться головним чином через воду — **в результаті екстремальних посух і паводків**. І тому найбільш перспективними напрямками для проактивної адаптації IPCC визначила такі:

- 1) Сезонне прогнозування клімату для с/г
- 2) Диверсифікація культур
- 3) Системи раннього попередження громад про екстремальну погоду
- 4) Моделювання зменшення впливів/наслідків екстремальних паводків на рівні громад.

Дослідженню ролі води і управління водними ресурсами присвячено було і дослідження Глобального Водного Партнерства, партнером якого в Україні є наша група, до зустрічі сторін у Глазго — «Як управління водними ресурсами може підтримати стійкий до зміни клімату розвиток в Україні?» (https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/2021/ukraine.pdf, дивись посилання на український переклад на сайті <https://mepr.gov.ua/news/38642.html>). В дослідженні вказувалось, що для того, щоби кількісно оцінити вигоди від адаптації треба зрозуміти, що вода — це не сектор економіки, а «кліматичний сполучник» між секторами. Вплив ЗК на воду визначає вплив ЗК на всі сектори економіки й перетинає національні кордони. У цьому дослідженні також описано, чому інтегровані підходи до управління водними ресурсами потрібні для стійкого до зміни клімату розвитку й що потрібно змінити, щоб Україна виконала свої зобов'язання згідно з Паризькою угодою та досягла Цілей сталого розвитку (ЦСР).

Для того, щоб «оцінити вразливість секторів до наслідків зміни клімату та створити відповідні плани з адаптації» в усьому світі використовується моделювання, оскільки провести дослідження в натурі не завжди є можливим технічно або фінансово. Моделювання буває двох видів:

- 1) what if... моделювання допомагає обрахувати очікувані ефекти від застосування тих чи інших заходів та допомогти управлінцям отримати підтримку суспільством їхньої стратегії;

- 2) optimal modeling — коли управлінці та інші учасники мають можливість провести розробку альтернативних сценаріїв для оптимального відбору заходів для найбільш ефективного досягнення цілей стратегії.

Аналіз сценаріїв вимагає застосування прогнозних моделей, які повинні бути засновані на процесі і, таким чином, зазвичай пов'язані або з глобальними циркуляційними моделями погоди (top-down modeling), або з гідрологічними моделями для опису потоку води (bottom-up modeling, дивись більше в [1]).

Першим двом напрямам адаптації зі списку IPCC присвячене свіже top-down моделювання Світовим Банком впливу викликаних ЗК посух: «Оцінка впливу, можливостей та пріоритетів для України у зв'язку зі зміною клімату» (дивись <https://merg.gov.ua/news/38732.html>), що є першою детальною оцінкою потенційних наслідків ЗК для сільського та лісового господарства України на основі декількох сценаріїв ЗК. Важливо те, що оцінка впливу на ці сектори економіки цілком описується впливом ЗК на водні ресурси. В повній відповідності до рекомендацій Глобального Водного Партнерства.

Два інших напрями адаптації — **моделювання викликаних ЗК катастрофічних паводків**, вже багато років є предметом досліджень Відділення математичного моделювання довкілля Інституту проблем математичних машин і систем НАНУ та Українського Центру екологічних та водних проєктів (УЦЕВП) в проєктах різних організацій:

- CRDF Grant No. UKG2-2971-KV-09. Formulating and Evaluating Water Resources Adaptation Options to Climate Change Uncertainty in the Carpathian Region. Institute of Mathematical Machines & Systems Problems NASU (IMMSP); Institute for Water Resources, US Army Corps of Engineers (IWR). DOI: 10.13140/2.1.2674.1124;
- Проєкт ЄС «Попередження і захист від паводків в верхніх басейнах річок Сирет і Прут, шляхом впровадження сучасної системи моніторингу з автоматичними станціями — EAST AVERT» (2013–2017);
- Проєкт №28/01/0421 Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Наука для безпеки людини та суспільства» «Прогнозування небезпечних впливів радіоактивно забруднених поверхневих вод і затоплення берегів: розвиток моделей та їх впровадження для зменшення наслідків надзвичайних ситуацій у м. Києві, спричинених водами р. Дніпро», 2020–2021.

Важливо, що предметом цих досліджень є чисельна (а не якісна, експертна) оцінка кліматичних ризиків та адаптаційних можливостей в умовах нестационарних ЗК, коли вірогіднісний (ймовірнісний) підхід, що застосовується, зокрема, в Методиці Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) для оцінки ризиків катастроф, *априорі* не працює. Кількісна оцінка є також важливою тому, що тільки вона дає можливість застосування аналізу витрати-вигоди і, відповідно, розробки методики оцінки економічної ефективності планів з адаптації.

Аналіз наслідків викликаних ЗК паводків в Україні

Після найбільшого за масштабами — 31 загиблий, 1 млрд доларів збитків, паводку 2008 року в Карпатах, в Україні була розроблена масштабна протипаводкова програма в басейнах Дністра, Прута та Сірету на 2012—2021 роки. Проте паводки 2020 року, разом зі стихійними лісовими пожежами, знову завдали збитків на суму 26 млрд. гривень і привели до загибелі 4 осіб. Важливо, що збитки від паводків були нанесені тим самим спорудам і садибам, що і у паводку 2008 року [2]. Тобто протипаводкова програма виявилася неефективною а posteriori. Чи можна було цього уникнути?

Нещодавно Рахункова палата провела аудит Програми розвитку водного господарства на 2012—2021 роки [3] і з'ясувала, що оцінити ефективність протипаводкової програми немає можливості, оскільки методика ефективності ніколи не розроблялася і не замовлялася. Це черговий раз показало, що в часи великої невизначеності ЗК стандартні високовартісні заходи захисту від паводків не завжди є економічно ефективними і більше уваги треба приділяти недорогим, але не менш ефективним адаптивним заходам, спрямованим на скорочення впливу/збитків від паводків, що відбуваються тепер частіше і є більш руйнівними.

Насправді традиційна, так звана «нормативна» методика оцінки ефективності водного менеджменту давно існує і в Україні [4] і в світі [5], [6]. Згідно цієї методики ефективність менеджменту забезпечується дотриманням стандартів і нормативів. Проблема в тому, що в умовах високої невизначеності ЗК нормативна методика, що базується на концепції «нульового ризику», коли ніякий рівень ризику не є прийнятним, не працює, і треба переходити від розуміння безпеки, як відсутності ризиків, до розуміння безпеки, як управління ризиками. Дискусія на цю тему викладена в публікації [7]. Для нас важливим в цій дискусії є те, що в сучасних умовах високої невизначеності ЗК ефективність врядування має визначатися не дотриманням нормативів, а дотриманням Принципів водного врядування ОЕСР [8], де:

«Результативність врядування пов'язана з існуючими конституційними обов'язками щодо визначення чітких цілей та цілей сталої політики у галузі водних ресурсів на всіх рівнях управління, реалізації цих цілей політики та досягнення очікуваних цілей», а

«Ефективність врядування визначається досягненням цілей сталої політики водними ресурсами та добробуту за найменших витрат для суспільства».

Тобто для застосування цієї методики оцінки ефективності треба мати чіткі цілі водної політики та можливість проведення аналізу витрати-вигоди альтернативних шляхів досягнення узгоджених цілей.

Цілі протипаводкової боротьби чітко висловлені в Паводковій Директиві ЄС: *«Плани управління ризиками паводків розробляються та виконуються з метою скорочення потенційних негативних наслідків для життєдіяльності людини, навколишнього природного середовища, культурної спадщини та господарської діяльності та/або скорочення вірогідності паводку»*. У Водному Кодексі України ця ціль викладена трошки інакше: *«Плани управління ризиками затоплення розро-*

бляються та виконуються з метою зменшення потенційного негативного впливу затоплень на життєдіяльність людини, навколишнє природне середовище, культурну спадщину та господарську діяльність». Різниця формулювань, здається, невелика, але головне полягає в тому, що українське формулювання розриває причинно-наслідковий зв'язок між паводком і затопленням і тому не дозволяє застосування аналізу витрати-вигоди шляхом аналізу альтернативних шляхів досягнення цілі. Більш детально про проблеми різниці формулювань йтиметься нижче.

Проте незважаючи на те, що цілі протипаводкової боротьби — «зменшення впливів та наслідків зміни клімату в Україні», викладені як у Водному Кодексі, так і у щойно прийнятій Стратегії адаптації до ЗК, в Стратегії мета адаптації наводиться на ...надцятій сторінці, а на перших сторінках написано, що Стратегія приймається для забезпечення виконання існуючих нормативно-правових актів. Тобто «нормативний» підхід досі преважує. А при ньому ефективність протипаводкових програм та адаптаційних планів принципово забезпечити не можна. Бо мета такого врядування в іншому.

Аналіз цілей України щодо боротьби з наслідками ЗК

Хоча Паризька Угода, ратифікована Україною однією з перших, каже про рівноправність боротьби з викидами парникових газів і адаптації, в Україні борються здебільшого зі ЗК, а не з її наслідками. Це пов'язано з усталеною концепцією безпеки, як відсутності ризиків (дивись Кодекс Цивільного захисту). Ще точніше ця усталена концепція відображена в українській націоналізації глобальних ЦСР 13 і 11 [9] :

- 1) Глобальна ЦСР 11.5 каже *скоротити кількість смертей та суттєво знизити прямі економічні збитки від водних стихійних лих*, а відповідне національне завдання каже лише про *забезпечення вчасного оповіщення громадськості про надзвичайні ситуації через інноваційні технології*;
- 2) Глобальна ЦСР 13.1 каже про *посилення опірності і адаптаційної здатності до ЗК*, а відповідне національне завдання каже про *обмеження викидів парникових газів*.

Розуміння безпеки, як відсутності ризиків, йде від історичного розуміння безпеки, як відсутності загрози від іншої держави [10]. Проте в перші десятиліття 21 століття, в процесі усвідомлення причин і наслідків глобальних ЗК, людство дійшло до розуміння безпеки не як відсутності ризиків, а як процесу скорочення:

- 1) ризику нестачі води (включаючи посухи) та
- 2) ризику надлишку води (включаючи паводки)

до соціально прийняттого рівня.

Підхід, заснований на оцінці ризику, визначає водну безпеку, в першу чергу, шляхом визначення допустимих рівнів ризиків з точки зору їх вірогідності та потенційних наслідків (економічних, екологічних, соціальних), і збалансування цього з очікуваними вигодами від покращення водної безпеки — **аналіз витрати-вигоди**. Це має допомогти забезпечити щоби

рівень ризику відображав суспільні цінності та те, що реакція суспільства пропорційна величині ризику. Підхід, заснований на оцінці ризику, також дозволяє ідентифікувати ділянки високих ризиків, де політичні заходи слід вживати перш за все. Ризик при цьому має розумітися в його математичному розумінні — як добуток **загрози, експозиції та вразливості**.

Управління ризиками відкриває додаткові можливості екологічного управління: зменшення кожного з множників, як ймовірності загрози, так і її впливу, до нуля — усуває ризик. Великий внесок в таке переосмислення безпеки і розуміння ризиків зробили звіти Міжурядової панелі зі змін клімату — IPCC. Стосовно ризику, то саме IPCC у своєму 5му звіті запропонувала розглядати **ризик**, як добуток трьох множників **(загроза)х(експозиція)х(вразливість)**, оскільки це збільшує операційність управління ризиками. Наприклад, для ризику природних та антропогенних катастроф IPCC так визначає три множники ризику:

- 1) як загрозу, що може вплинути на населення і нерухомість,
- 2) як вразливість, що характеризує чутливість населення і нерухомості до руйнування, та
- 3) як експозицію — погано сплановане середовище (наприклад, будівництво в зоні паводків), бідність, екологічну деградацію, що посилюють амплітуду взаємодії множників і, відповідно, ризики.

Методи

Проактивні можливості для адаптації до мінливості клімату значно просунулися в останні десятиліття з розвитком оперативних комп'ютерних можливостей «top-down» сценарного аналізу і прогнозування погодних екстремумів, а також «bottom-up» моделювання ризику і наслідків посух та паводків на рівні громад. Результати «топ даун» моделювання для с/г розглянуто у свіжому дослідженні Світового банку «Оцінка впливу, можливостей та пріоритетів для України у зв'язку зі зміною клімату» (дивись <https://mepr.gov.ua/news/38732.html>). Головні висновки звіту:

- Річні температури постійно змінюватимуться протягом століття. Це, ймовірно, призведе до змін у режимі річних опадів, підвищення температури повітря влітку та збільшення посух на півдні та сході України. Згідно із одним зі сценаріїв, до кінця століття, на Півдні буде понад 100 тропічних ночей і до 135 літніх днів на рік.
- Щороку кількість опадів збільшуватиметься та ставатиме нерівномірною. Взимку їх кількість збільшиться, а влітку, навпаки, зменшиться;
- Аномальна спека, грози, сильні опади, дощові та річкові повені, посухи, град, шквали, торнадо, сильні снігопади, дощі, що утворюють ожеледицю, налипання мокрого снігу — їх частота та інтенсивність лише зростатимуть.
- Врожаї для всіх сільськогосподарських культур будуть істотно коливатися.
- Тривалі посухи призведуть до погіршення здоров'я лісу, збільшення рівня загибелі дерев та лісових пожеж. Відбудеться значне скорочення площ, придатних для вирощування ялини, бука, сосни та дуба.

- Зміна клімату матиме більший вплив на одні області, ніж на інші. Найбільше постраждають Черкаська, Херсонська, Кіровоградська, Полтавська та Вінницька.
- Через зниження вартості сільськогосподарського виробництва найбільших втрат та зростання бідності та нерівності зазнають у Харківській, Кіровоградській, Львівській, Луганській та Житомирській областях.
- Для України важливо вже зараз розпочати впроваджувати дієві адаптаційні заходи. Адже це може значно зменшити наслідки зміни клімату.

Світовий Банк не дає кількісних оцінок втрат, але з методики видно, що при бажанні їх можна розрахувати. Для нас важливим є твердження, що «важливо вже зараз розпочати впроваджувати дієві адаптаційні заходи. Адже це може значно зменшити наслідки ЗК. Те саме стосується адаптаційних заходів стосовно катастрофічних паводків. В наступних розділах продемонструємо результати досліджень Відділення математичного моделювання довкілля, Інститут проблем математичних машин і систем ШММС НАНУ по створенню:

- 1) Комп'ютерних систем раннього попередження громад про екстремальну погоду та
- 2) Комп'ютерного чисельного моделювання зменшення впливів/наслідків екстремальних паводків на рівні громад.

Комп'ютерні системи раннього попередження громад про екстремальну погоду

Боттом ап чисельне моделювання ризиків і наслідків екстремальних паводків досліджується у Відділенні математичного моделювання довкілля ШММС НАНУ з часів катастрофічного паводку 2008 року, коли загинула 31 людина і було нанесено збитків на мільярд доларів. Моделювання таких катастрофічних подій здійснюється нами шляхом створення ланцюжків прогностичних моделей для всіх стадій катастрофічних паводків:



Рис. 1: Ланцюг моделей прогностичної системи

Для моделювання опадів використовується американська мезомасштабна модель прогнозу погоди WRF (www.wrf-model.org), яку в рамках Проекту ЄС «Попередження і захист від паводків в верхніх басейнах річок Сірет і Прут, шляхом впровадження сучасної системи моніторингу з автоматичними станціями — EAST AVERT» було адаптовано для прогнозування опадів у басейнах річок Прут та Сірет [11].

Модель WRF була налаштована для прогнозування метеорологічних умов в басейнах р. Прут та Сірет із зоною покриття — спільна зона української частини Прута і Сірету. Кожні 6 годин модель WRF розраховує метеорологічний прогноз на 4 доби з кроком прогнозу 1 година. На виході модель WRF формує файл метеорологічних полів з просторовим дозволом 3x3 км, в якому для кожної розрахункової точки моделі зберігається відповідне значення метеорологічного параметру (рис. 2)

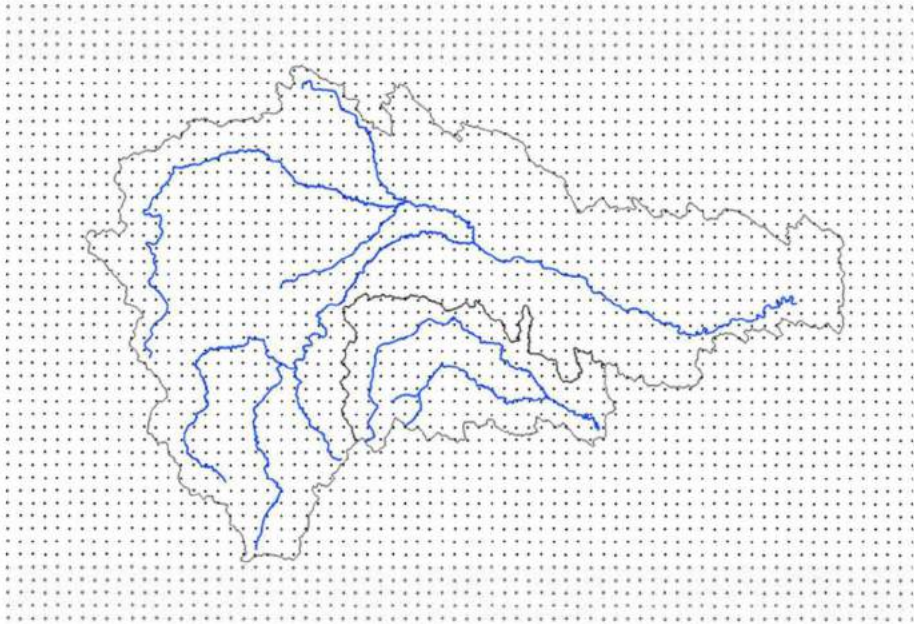


Рис. 2: Розрахункові точки WRF та водозбори р. Прут та р. Сірет

Далі файл із полями метеорологічних параметрів надходить до розробленої в ШММС НАНУ моделі стоку TOPKAPI-U для моделювання другої стадії «опадів–стік». Результати розрахунку моделі TOPKAPI-U, а саме рівні глибин H та витрати води Q у створах гідрологічних постів, передаються до бази даних прогностичної системи у відповідних форматах та візуалізуються у інтерфейсі користувача. Схема роботи ланцюга наведено на рис. 3.

В період виконання договору один сервер знаходився в Чернівецькому ГМЦ, на якому зберігалися дані гідрологічних та метео прогнозів, а також дані спостережень. Згідно договору дані передавалися румунським партнерам, які використовували їх для раннього прогнозу паводків на території Румунії.

Територіальні органи ДСНС, які згідно Водного Кодексу відповідають тепер за Плани управління ризиками затоплень, цими даними не зацікавились. Навіть під час катастрофічних паводків 2020 року в Івано-Франківській області. Чинні інструкції досі передбачають, що діяльність ДСНС розпочинається після надзвичайної ситуації.

В той же час очевидно, що створена система моделювання може бути легко використана для раннього, за 3–4 дні, прогнозу загрозованих рів-

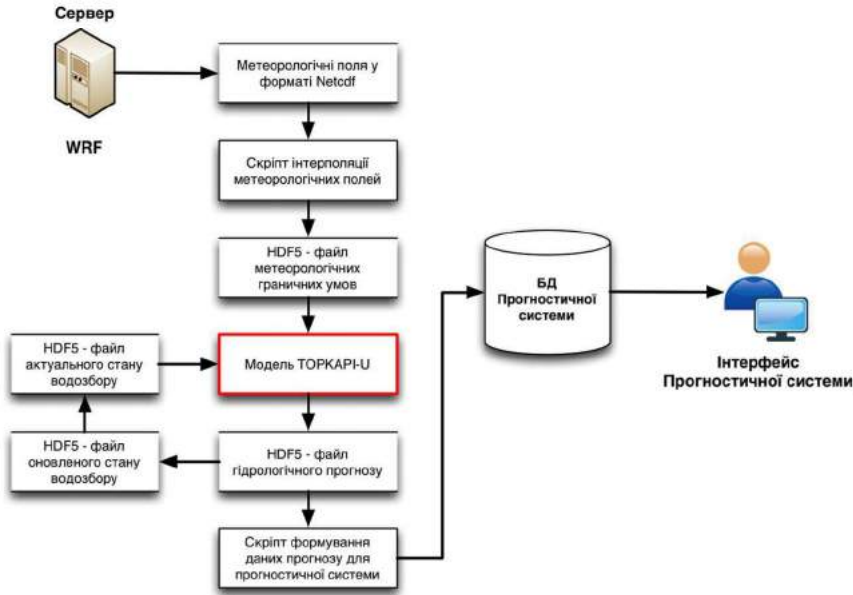


Рис. 3: Схема роботи ланцюга «Прогноз погоди — Гідрологічний прогноз»

нів стоку і прогнозу викликаних ними паводків. Згідно з рекомендаціями IPCC такі системи раннього попередження є найбільш ефективними адаптаційними заходами. В першу чергу, щодо зменшення людських втрат. Стосовно ж зменшення наслідків/збитків від паводків, одновимірні моделі не так корисні. Для моделювання затоплення і його наслідків треба користуватися двовимірними моделями.

Можливості чисельного оптимального двовимірного моделювання наслідків затоплення на рівні громад

В рамках виконання проекту EAST AVERT було також обрано 12 ділянок прирічкових частин басейнів річок Прут, Черемош, Сірет, Малий Сірет із потенційно високим ризиком затоплення, де для кожної ділянки було налаштовано двовимірну модель прогнозу затоплення на основі двовимірної гідравлічної моделі УЦЕВІП — COASTOX. За допомогою налаштованих прогностичних моделей були проведені розрахунки екстремальних повеней забезпеченістю 0.1%, 1%, 5%, 10% та побудовані карти зон затоплення та максимальних глибин затоплення.

Треба відразу зазначити, що значення тої чи іншої ймовірності паводку наведено просто для ілюстрації. Ми свідомі того, що в умовах нестаціонарності ЗК поняття ймовірності взагалі малоприйнятне. Особливо для рідкісних подій. Насправді в нашому підході моделюються рівні витрат, які співставляються потім із звичними для водників величинами забезпеченості паводку. Нижче наведені розрахунки максимальних витрат для різних

рівней забезпеченості для міста Києва, отримані УГМЦ за допомогою статистичного аналізу минулих повеней:

Ймовірність перевищення (забезпеченість), %	0.1	1	3	5	10	25	50
Витрати, мЗ/с	36394	21790	16097	13708	10731	7085	4485

В рамках виконання було проведено деталізоване тестування системи двовимірного моделювання за даними флудмарків (flood marks) — відміток рівнів історичних екстремальних повеней, які збиралися партнерами проєкту в ході проєкту. Відмітки рівнів встановлювалися шляхом дослідження фотознімків, прив'язки їх до місцевості, фіксації відміток на спорудах, опитування населення та підсумкового аналізу. Під час остаточного ГІС аналізу створювалися шейп-файли із відмітками рівнів, прив'язані до ГІС моделей ділянок.

Відмітки рівнів були зібрані для повені 2008 року для двох ділянок по річках Прут та Сирет. Для цих ділянок був промодельований історичний паводок 2008 року та проведено порівняння рівнів води, встановлені під час дослідження на місцевості, із розрахованими глибинами у тих самих точках. Результати тестування свідчать про те, що:

- розроблена система двовимірного моделювання є достатньо точною і може використовуватися для оперативного прогнозу паводків;
- побудовані карти зон затоплення та максимальних глибин затоплення для екстремальних паводків забезпеченістю 0.1%, 1%, 5%, 10% можуть бути використані для оцінки небезпек та картування загроз життєдіяльності і господарювання.

Проте для картування ризику паводків треба створювати не тільки карти загроз, але й карти ризиків та наслідків/збитків від паводків. Замовлення на карти збитків або ризиків паводку на Пруті і Сиреті не було і тому такі карти там не створювалися.

Підхід двовимірного моделювання ризиків паводків і зон їх затоплення був далі розвинутий в рамках Проєкту №28/01/0421 Національного фонду досліджень України у межах конкурсу «Наука для безпеки людини та суспільства» «Прогнозування небезпечних впливів радіоактивно забруднених поверхневих вод і затоплення берегів: розвиток моделей та їх впровадження для зменшення наслідків надзвичайних ситуацій у м. Києві, спричинених водами р. Дніпро», в якому моделювалися не тільки загрози, але й впливи/наслідки паводків, а також шляхи їх зменшення.

При цьому для моделювання і картування паводків використовувалися апроксимовані до Паводкової Директиви ЄС зміни до Водного Кодексу України (Документ 213/95-ВР, чинний, поточна редакція — Редакція від 16.10.2020), Постанова Кабінету Міністрів України від 4 квітня 2018 р. №247 «Про затвердження Порядку розроблення плану управління ризиками затоплення», та прийняті Накази Міністерства Внутрішніх Справ України: Наказ 17.01.2018 №30 Про затвердження Методики попе-

редньої оцінки ризиків затоплення (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 07 лютого 2018 р. за №153/31605), Наказ від 28.02.2018 №153 Про затвердження Методики розроблення карт загроз і ризиків затоплення (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 22 березня 2018 р. за №350/31802) та Наказ від 21.09.2018 №552 Про затвердження Методики розрахунку можливих втрат від затоплення.

Проте були й деякі відмінності методики, пов'язані з обмеженістю підходів в згаданих вище Наказах:

Перше. Методика ДСНС дозволяє кількісні розрахунки можливих втрат від затоплення і тому ми користувалися схожою методикою і використовували можливості ГІС для ілюстрації. В той же час Методика ДСНС не дозволяє проводити розрахунки ризику затоплення, обмежуючись якісною, експертною оцінкою ризику. Що не дає можливості досягти головної мети планів управління ризиками паводків — зменшення *ризиків паводків (як в ЄС) або потенційного негативного впливу затоплень (як у нас) на життєдіяльність людини, навколишнє природне середовище, культурну спадщину та господарську діяльність*». Бо ефективно оцінити зменшення впливу за рахунок лише якісних, експертних оцінок ризику неможливо. Для оцінки ефективності ПУРЗів потрібні кількісні підходи, які й дає наш підхід до моделювання.

Друге. В Методиці оцінки ризиків затоплення зазначено, що «*Ризик затоплення*» — це *послання вірогідності затоплення і потенційних негативних наслідків для здоров'я населення, навколишнього середовища, культурної спадщини і господарської діяльності, пов'язаних із цим затопленням*». Це визначення протирічить визначенням провідних міжнародних наукових установ. ІРСС каже, що ризик це не об'єднання, а перетин або добуток загрози, експозиції та вразливості. Формальне визначення ІРСС звучить так:

Risk is represented as probability of occurrence of hazardous events or trends multiplied by the impacts if these events or trends occur. Risk results from the interaction of vulnerability, exposure, and hazard.

Ризик представляється як ймовірність виникнення небезпеки події або тенденції, помножені на вплив цих подій або тенденцій, коли вони відбудуться. Ризик виникає внаслідок взаємодії вразливості, експозиції та небезпеки.

А визначення ISO звучить так: Ризик — це *ефект невизначеності*. Тобто ризик пропорційний ефекту, а не об'єднанню ефекту і невизначеності.

Чому це важливо? В чому проблема з визначенням ризику, як об'єднання, тобто суми вірогідності і впливу, а не їх добутку? В тому, що в сумі втрачається каузальність (причинно-наслідкові зв'язки між паводком і затопленням) та можливість правильно кількісно визначити/розрахувати величину ризику. На жаль, ДСНС робить саме таку помилку у своїй Методиці визначення ризику затоплень, відриваючи загрозу від її впливу. І таким чином прирікаючи себе на лише якісну, а не кількісну, оцінку ризику затоплення.

Пояснимо шляхом *ad absurdum*, чому добуток, а не сума. Очевидно, що ризик якоїсь події дорівнює нулю і коли вірогідність події нуль, і коли її вплив — нуль. А от коли ризик це сума/об'єднання — то він може бути не нуль і коли вірогідність нуль, і коли вплив нуль. Абсурд, чи не так?

В даному проекті розрахунок і картування ризиків від паводкових ситуацій проведено за методикою, оцінки та картування ризиків, що описується загальною формулою: Ризик затоплення = Ймовірність Глибина затоплення Вразливість.

Основними чинниками, що визначають ступінь ризику від гідрологічних ситуацій є:

ймовірність — яка представлена фактично швидкістю течії для стаціонарних подій. На територіях з рівнинними ріками, такими, як Дніпро в районі м. Київ, швидкість не є суттєвим фактором, тому вона не так сильно впливає на розраховану величину ризику. Крім того, абсолютна величина ризику не є важливою, важливо порівняння величин ризику в залежності від тих чи інших протипаводкових заходів. При цьому неточність визначення ймовірності статистичним шляхом обробки історичних повеней буде ще менш важлива;

глибина затоплення — що представляє собою експозицію у формулюванні ІРСС. Глибина затоплення (експозиція) розраховувалась як різниця між значенням рівня поверхні ріки, отриманої в результаті гідродинамічного моделювання за сценарієм певної ймовірності, та зведеної поверхні рельєфу засобами математики карт Spatial Analyst ArcGIS. В результаті просторового аналізу був отриманий растровий шар глибини затоплення у вигляді статистичної поверхні з розрізненням 10 м, в кожному пікселі якої вміщено значення глибини затоплення. Пікселі зі значенням «0» вказували межу зони затоплення;

вразливість, що характеризує чутливість населення і нерухомості до руйнування, значною мірою залежить від функціонального призначення об'єкту або території, що дає можливість при дефіциті вихідних даних використовувати поділ за типами землекористування або за вартістю споруд на цих ділянках. Вразливість функціональних зон визначалась залежно від типу землекористування кожного елемента міської території, що отримав один з чотирьох класів ризику: 0 — незначний (залишковий) ризик, 1 — низький ризик, 2 — середній ризик, 3 — високий ризик. В поданих нижче прикладах ми використали чотири можливі значення вразливості — 0, 1, 2, 3. Для конкретних розрахунків потрібно використовувати конкретні значення вартості одиниці затопленої площі, що можна зробити за допомогою ГІС технологій за наявності відповідних баз даних.

Просторовий характер розподілу та розвитку більшості природно-техногенних небезпек вимагає включення в алгоритми розрахунку ризиків операції зіставлення функціональних зон і об'єктів з зонами можливого затоплення, розрахунку площ затоплених територій, зонування територій за глибинами затоплення тощо, тому геоінформаційні технології за рахунок потужних засобів просторового аналізу і моделювання значно підвищують ефективність оцінок такого типу. В даному проекті методика оцінки і картування ризику можливого затоплення території м. Києва реалізована з використанням потужного інструментарію просторового аналізу і моделювання ArcGIS.

До абсолютних показників ризиків, що визначаються в євро/га або євро/км² та ін. слід відноситись з обережністю, зважаючи на відносно невисоку точність доступних для аналізу вихідних параметрів, таких як

кількість населення в зоні ураження; вартість обладнання та будівель, що тимчасово або повністю виведені з ладу; збитків за рахунок втрати врожаю і зниження якості сільгоспугідь і т.д. В сучасній практиці оцінка можливих збитків базується у кращому випадку на емпіричних даних минулих років в цьому або аналогічному за умовами місці, в інших — на узагальнених якісних показниках, штучно створених експертами.

Класифікація зони затоплення за глибинами проведена в нашій методиці засобами функції Reclassify Spatial Analyst ArcGIS, що дозволило виділити 3 класи зон за глибиною:

- 1 клас: < 0,5 м
- 2 клас: 0,5 — 1,5 м
- 3 клас: > 1,5 м

При цьому вразливість функціональних зон визначалась залежно від типу землекористування кожного елементу. В процесі аналізу карти землекористування території м. Києва з урахуванням рекомендацій спеціалістів УкрГМЦ в межах зони можливого затоплення при сценарії 0,1% ймовірності виділено 8 функціональних зон:

1	Житлова забудова
2	Населені пункти (за межами міста)
3	Промислові зони
4	Річковий порт
5	Потенційно-небезпечні об'єкти (ПНО)
6	Садово-дачні ділянки
7	Зони відпочинку
8	Піски намиті не заселені (на 2021р)

Якщо певний тип території був затоплений різними діапазонами глибин, система ділила його по межах діапазонів глибин і призначала відповідний коефіцієнт в залежності від типу функціональної зони (таб.1).

Таблиця 1.

№	Тип території	Значення коефіцієнту ризику в залежності від глибини затоплення		
		Низький 1	Середній 2	Високий 3
		<0,5	0,5–1,5	>1,5
1	Житлова забудова	2	3	3
2	Населені пункти (за межами міста)	1	2	3
3	Промислові зони	3	3	3
4	Річковий порт	1	2	3
5	Потенційно-небезпечні об'єкти (ПНО)	3	3	3
6	Садово-дачні ділянки	2	3	3
7	Зони відпочинку	0	1	2
8	Піски намиті не заселені (2021 р.)	0	0	0

Картування ризику, що розрахований за вказаною методикою, було проведено засобами накладання шарів ArcGIS шляхом зіставлення карти функціональних зон з картою глибин для розрахунку результуючого коефіцієнту ризику. Таким чином, кожен тип міської території, що зазначений у таблиці 1 отримав один з чотирьох класів ризику (0–3) в залежності від глибини затоплення і рівня вразливості.

- 0 – незначний (залишковий) ризик
- 1 – низький ризик
- 2 – середній ризик
- 3 – високий ризик

Базуючись на результуючих показниках класу ризику побудована карта ризиків затоплення території м. Києва:

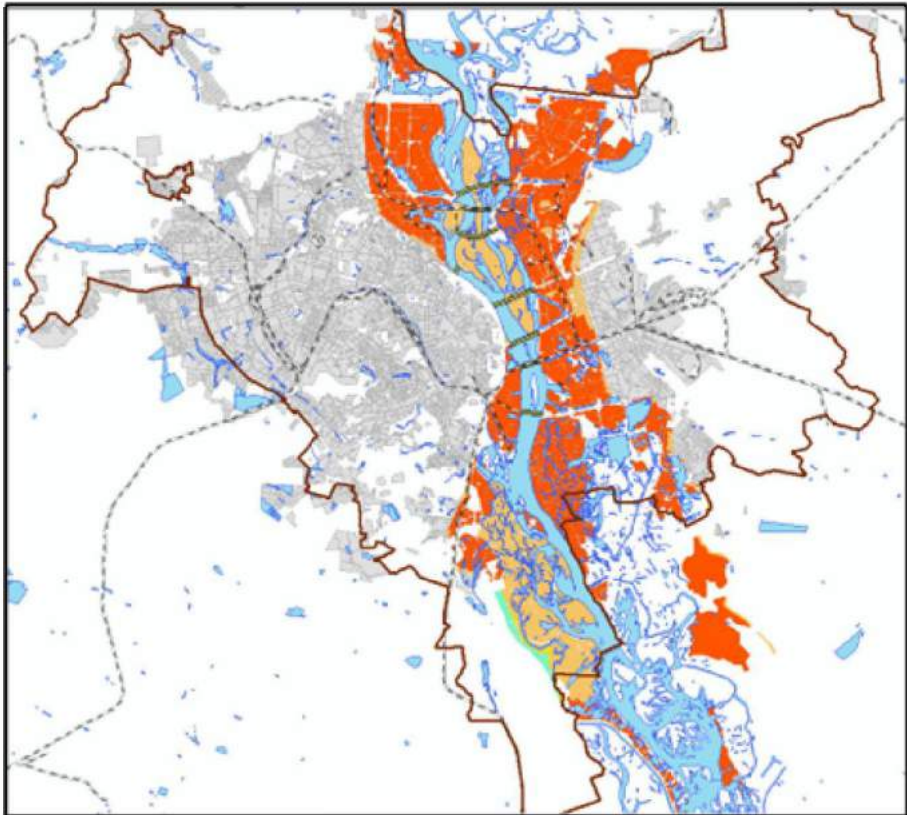


Рис. 4: Загальний вигляд карти ризику затоплення території м. Києва за сценарієм 0,1% ймовірності (максимальний за 1000 років, з витратою $36394 \text{ м}^3/\text{с}$). Різними кольорами позначені чотири рівня ризику.

Висновки

Звичайно, використання орієнтовних показників вразливості і можливих збитків дає можливість лише відносної оцінки ризику на рівні «краще-гірше». Більш точні дані щодо вартості ділянок і споруд дадуть більш точні прогнози. Лише моделювання з використанням реальної вартості затоплених ділянок може допомогти підвищити ефективність ПУРЗів за рахунок можливості моделювання альтернативного зменшення ризику шляхом скорочення або загрози, або експозиції, або вразливості. І чисельного порівняння що ефективніше скорочує ризик. Для цього можливо треба буде зробити декілька демонстраційних малюнків для різних рівнів витрат, які відображатимуть ті чи інші протипаводкові заходи, та для різних значень вразливості затоплених територій, які відображатимуть реальну оцінку втрати затопленої житлової чи промислової інфраструктури.

Тільки такий підхід альтернативного зменшення ризику затоплення може забезпечити кількісну оцінку ефективності Планів управління ризиками затоплення, а також забезпечити створення об'єктивної методики оцінки ефективності протипаводкових програм, про відсутність якої поціно нагадала Рахункова палата.

В той же час не варто розраховувати, що ДСНС буде домагатися зменшення збитків, хоча це й формально записано у Водному Кодексі. В якості завдання по Глобальній ЦСР11.5 «*скоротити кількість смертей та суттєво знизити прямі економічні збитки від водних стихійних лих*» Уряд записав для ДСНС лише таке завдання: «*забезпечення вчасного оповіщення громадськості про надзвичайні ситуації через інноваційні технології*». До того ж бюджет ДСНС досі пропорційний величині збитків. А компенсація постраждалим від паводків відбувається за рахунок резервного фонду Уряду, а не за рахунок страхування. Тобто сподіватися, що ДСНС буде працювати на скорочення свого бюджету, не доводиться.

В той же час запропонований нами підхід може бути використаний при розробці ефективних планів адаптації до ЗК на рівні громад, оскільки саме громада дійсно зацікавлена в ефективному скороченні збитків від паводків. Викладене вище доводить можливість створення таких адаптаційних програм.

Продовження досліджень можливе лише при спеціальному замовленні конкретною громадою, в разі фінансування через Державну цільову науково-технічну програму у сфері зміни клімату на період до 2030 року, що згадується в операційному плані Уряду по реалізації Стратегії адаптації до ЗК [12], або в разі подання пропозицій до Green Climate Fund (<https://www.greenclimate.fund/>), який був спеціально створений для таких пропозицій.

Література

- [1] Joe Manous; Eugene Z. Stakhiv. 2021. Climate risk-informed decision analysis (CRIDA): «top-down» vs «bottom-up» decision making for planning water resources infrastructure. *Water Policy*. 23 (S1): 54–76. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.243>

- [2] Manal Fouani, Anna Anisimova, Andriy Demydenko. Connecting the dystopian dots. Exploring the links between COVID-19, Chernobyl wildfires, Carpathian flooding and record high temperatures. <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/en/home/blog/2021/connecting-the-dystopian-dots-.html>
- [3] Звіт Рахункової палати про результати аудиту ефективності виконання заходів Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. http://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2021/12-3_2021/R_RP_12-3_2021.pdf
- [4] Екологічне управління : підручник. 2004. / В.Я. Шевчук, Ю.М. Саталкін, Г.Я. Білявський та ін. Київ : Либідь, 432 с.
- [5] Eugene Z. Stakhiv. 2021. The centrality of engineering codes and risk-based design standards in climate adaptation strategies. *Water Policy*. 23(S1):106–127. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.345>
- [6] Woodhouse P. Muller M. 2017. Water governance — an historical perspective on current debates. *World Development* 92, 225–241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.11.014>
- [7] Демиденко Андрій. 2021. Досвід впровадження інтегрованого управління водними ресурсами та водних Цілей сталого розвитку ООН в українську водну політику. Робоча Група з підготовки Водної Стратегії. Міндовкілля України, англійською мовою дивись тут — *Water Policy* (2020) 22(6):1015–1023. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.062>
- [8] Принципи ОЕСР щодо водного врядування. ОЕСР, 2015. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-on-Water-Governance-ukrainian.pdf>
- [9] Voluntary National Review of progress towards achievement of the Sustainable Development Goals. 2020. Київ : Department of Economic Strategy and Macroeconomic Forecasting, Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine, 115–116. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26295VNR_2020_Ukraine_Report.pdf
- [10] Hans Günter Brauch, Úrsula Oswald Spring, Czeslaw Mesjasz, John Grin, Pál Dunay, Navnita Chadha Behera, Béchir Chourou, Patricia Kameri-Mbote, P. H. Liotta. 2008. Globalization and Environmental Challenges: Reconceptualizing Security in the 21st Century. Springer Science & Business Media, Jan 23, Social Science. 1148 p.
- [11] Звіт по Договору №30 від 01 липня 2017 року «Розробка та додаткове тестування математичних прогностичних моделей і програмних компонентів оперативного розрахунку карт затоплення для ГІС по одновимірним і двовимірним гідродинамічним моделям»
- [12] ОПЕРАЦІЙНИЙ ПЛАН реалізації у 2022–2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/uploads/public/618/13a/969/61813a96994a6790638217.doc>

References

- [1] Joe Manous; Eugene Z. Stakhiv. 2021. Climate risk-informed decision analysis (CRIDA): «top-down» vs «bottom-up» decision making for planning water resources infrastructure. *Water Policy*. 23 (S1):54–76. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.243>
- [2] Manal Fouani, Anna Anisimova, Andriy Demydenko. Connecting the dystopian dots. Exploring the links between COVID-19, Chernobyl wildfires, Carpathian flooding and record high temperatures. <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/en/home/blog/2021/connecting-the-dystopian-dots.html>
- [3] Zvit Rakhunkovoi palaty pro rezultaty audytu efektyvnosti vykonannia zakhodiv Zahalnodержavnoi tsilovoi prohramy rozvytku vodnoho hospodarstva ta ekolohichnoho ozdorovlennia baseinu richky Dnipro na period do 2021 roku. http://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2021/12-3_2021/R_RP_12-3_2021.pdf
- [4] Ekolohichne upravlinnia : pidruchnyk. 2004. / V. Ia. Shevchuk, Yu. M. Sattalkin, H. Ia. Biliavskiy ta in. Kyiv : Lybid, 432 s.
- [5] Eugene Z. Stakhiv. 2021. The centrality of engineering codes and risk-based design standards in climate adaptation strategies. *Water Policy*. 23(S1):106–127. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.345>
- [6] Woodhouse P. Muller M. 2017. Water governance — an historical perspective on current debates. *World Development* 92, 225–241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.11.014>
- [7] Demydenko Andrii. 2021. Dosvid vprovadzhennia intehrovanoho upravlinnia vodnymy resursamy ta vodnykh Tsilei staloho rozvytku OON v ukrainську vodnu polityku. Robocha Hrupa z pidhotovky Vodnoi Stratehii. Mindovkillia Ukrainy, eng. — *Water Policy* (2020) 22(6):1015–1023. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.062>
- [8] Pryntsypy OESR shchodo vodnoho vriaduvannia. OESR, 2015. <https://www.oecd.org/cfe/regionaldevelopment/OECD-Principles-on-Water-Governance-ukrainian.pdf>
- [9] Voluntary National Review of progress towards achievement of the Sustainable Development Goals. 2020. Київ : Department of Economic Strategy and Macroeconomic Forecasting, Ministry for Development of Economy, Trade and Agriculture of Ukraine, C.115–116. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26295VNR_2020_Ukraine_Report.pdf
- [10] Hans Günter Brauch, Úrsula Oswald Spring, Czesław Mesjasz, John Grin, Pál Dunay, Navnita Chadha Behera, Béchir Chourou, Patricia Kameri-Mbote, P. H. Liotta. 2008. *Globalization and Environmental Challenges: Reconceptualizing Security in the 21st Century*. Springer Science & Business Media, Jan 23, Social Science. 1148 p.
- [11] Zvit po Dohovoru № 30 vid 01 lypnia 2017 roku «Rozrobka ta dodatkovе testuvannia matematychnykh prohnostychnykh modelei i prohramnykh komponentiv operatyvnogo rozrakhunku kart zatoplennia dlia HIS po odnomirnym i dvovymirnym hidrodynamichnym modeliam»
- [12] OPERATSIINYI PLAN realizatsii u 2022–2024 rokakh Stratehii ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu na period do 2030 roku. <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/uploads/public/618/13a/969/61813a96994a6790638217.doc>