

НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРОБЛЕННЯ ПЛАНІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ЗАТОПЛЕННЯ В РІЧКОВИХ БАСЕЙНАХ

Петроченко О.В.¹, Петроченко В.І.²

¹Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський пр., 31, 03680, м. Київ
a_petr89@i.ua;

²Інститут водних проблем і меліорації
Національної академії аграрних наук України
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ
v_petr47@ukr.net

Проблема паводків позначена як одна з глобальних проблем людської цивілізації. У статті зазначено, що основним документом із розв'язання проблеми паводків на міжнародному рівні є Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2007 р. «Про оцінку і управління ризиками затоплення». Висвітлено основні заходи з імплементації Директиви 2007/60/ЄС до законодавства України в галузі водної політики. Здійснено аналіз методичних документів щодо впровадження в Україні Директиви 2007/60/ЄС, які розроблено Державною службою надзвичайних ситуацій України. Наголошено про брак необхідного для практичного використання універсального строго алгоритмізованого підходу до управління паводковими ризиками в річкових басейнах. У статті зроблено спробу створити на принципово новій концептуальній основі науково-методичне забезпечення впровадження Директиви 2007/60/ЄС. За результатами дослідження розроблено науково-методичний інструментарій оцінки ризиків затоплення й розроблення планів управління ризиками затоплення в річкових басейнах, який відповідає основним положенням Директиви 2007/60/ЄС та пропонується для її впровадження. Результати дослідження представлено в розділах, назви яких збігаються з назвами глав Директиви 2007/60/ЄС. Перший розділ «Загальні положення» містить терміни, які доповнюють список термінів, наведених у Директиві 2007/60/ЄС. У другому розділі «Попередня оцінка ризиків затоплення» розроблено науково-методичні основи оцінки ризиків затоплення, за якими передбачено використання статистики паводків за минулий період. Ризики затоплення запропоновано оцінювати за гідрологічними показниками паводків і показниками збитку від паводків, які представлено спадними гіперболічними функціями вірогідності паводків. Третій розділ «Карти небезпек затоплення і карти ризиків затоплення» містить методику розроблення для кожної зони паводкових ризиків карт небезпек затоплення і карт ризиків затоплення за сценаріями, які відповідають п'яти основним рівням інтенсивності паводків, що встановлюють за фіксованими значеннями вірогідності паводків. Для п'яти основних сценаріїв затоплення дано рекомендації з розроблення п'яти карт небезпек затоплення за гідрологічними показниками паводків і п'яти карт ризиків затоплення за показниками збитку від паводків. У четвертому розділі «Плани управління ризиками затоплення» заходи з управління ризиками затоплення запропоновано розділяти на ситуаційні, які виконують після короткострокового (3–7 діб) прогнозування паводків, і превентивні, які виконують після довгострокового прогнозування паводків. Наведено методичні основи розроблення планів управління ризиками затоплення як для окремих локальних зон паводкових ризиків, так і для всього річкового басейну, який може бути розташований на території кількох країн. *Ключові слова:* паводок, інтенсивність паводка, зона паводкових ризиків, зона затоплення, карти небезпек і ризиків затоплення, план управління ризиками затоплення.

Scientific and methodological support for the development of flood risk management plans in river basins. Petrochenko O., Petrochenko V.

The problem of floods is designated as one of the global problems of human civilization, which requires a solution at the international level. The article notes that the main document to address the problem of floods at the international level is Directive 2007/60/EU of the European Parliament and of the Council of 23.10.2007 "On flood risk assessment and management". The main measures for the implementation of Directive 2007/60/EU to the legislation of Ukraine in the field of water policy are highlighted. Methodical documents on the implementation of Directive 2007/60/EU in Ukraine, which were developed by the State Emergency Service of Ukraine, are analyzed. It is emphasized that there is no universal strictly algorithmic approach to flood risk management in river basins necessary for practical use. To eliminate this drawback, the article attempts to create scientific and methodological support for the implementation of Directive 2007/60/EU on a fundamentally new conceptual basis. Based on the results of the study, a fundamentally new scientific and methodological toolkit for assessing flood risks and developing plans for managing flood risks in river basins was developed, which complies with the main provisions of Directive 2007/60/EU and is proposed for its implementation. The results of the study are presented in sections whose names coincide with the titles of the chapters of Directive 2007/60/EU. The first section, General Provisions, contains terms that supplement the list of terms given in Directive 2007/60/EU. In the second chapter, "Preliminary assessment of flood risks", scientific and methodological foundations for assessing flood risks are developed, according to which the use of flood statistics over the past period is provided. It is proposed to assess the risks of flooding by hydrological indicators of floods and indicators of damage from floods, which are represented by descending hyperbolic functions of flood probability. The third section, "Flood hazard maps and flood risk maps", contains a methodology for developing flood hazard maps and flood risk maps for each flood risk zone according to the scenarios that correspond to the five main flood intensity levels, which are set based on fixed flood probability values. For the five main flood scenarios, recommendations are given on the development of five flood hazard maps

for hydrological flood indicators and five flood risk maps for flood damage indicators. In the fourth section, "Flood Risk Management Plans", flood risk management measures are proposed to be divided into situational ones that perform after short-term (3–7 days) flood forecasting and preventive ones that follow after long-term flood forecasting. The methodological basis for the development of flood risk management plans for both individual local flood risk zones and the entire river basin, which can be located in several countries, is presented. *Key words*: flood, flood intensity, flood risk zone, flood zone, hazard and flood risk maps, flood risk management plan.

Постановка проблеми. Однією з глобальних проблем людської цивілізації є проблема паводків, яку з огляду на її планетарне значення розглядають не тільки на внутрішньодержавному, а й на міжнародному рівнях. Однак ухвалені міжнародними організаціями декларації та директиви з глобальних проблем людства зазвичай потребують належного методологічного і науково-методичного забезпечення їх впровадження.

Актуальність дослідження. Основним законодавчим документом рішення на міжнародному рівні проблеми паводків є Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 р. «Про оцінку і управління ризиками затоплення» [1]. Директиву 2007/60/ЄС було ухвалено для регулювання відносин між державами-членами ЄС у сфері запобігання і скорочення негативних наслідків паводків у постраждалих районах, а також для координації розроблення планів управління ризиками, пов'язаними зі стихійним лихом. Директива 2007/60/ЄС доповнює основні положення Директиви 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 р. «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» [2].

Оскільки території багатьох європейських країн розташовані в басейнах транскордонних річок, то головним причинним фактором ухвалення міжнародних директив із водної політики є потреба спільного впровадження Співтовариством (державами ЄС) басейнового принципу управління водними ресурсами (Директива 2000/60/ЄС), зокрема управління ризиками затоплення (Директива 2007/60/ЄС). За басейновим принципом управління річковий басейн визнають як цілісний природний гідрографічний об'єкт без його обмежень адміністративними чи державними кордонами.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Україна обрала курс на імплементацію Директиви 2007/60/ЄС до законодавства України шляхом ухвалення Постанови Кабінету Міністрів України від 25 жовтня 2017 р. № 1106 «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» [3]. Державну службу України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС України) визначено відповідальним органом за впровадження Директиви 2007/60/ЄС за пунктами:

– 1713. Удосконалення законодавства України щодо оцінки та управління ризиками затоплення внаслідок паводків;

– 1743. Забезпечення проведення попередньої оцінки ризиків затоплення;

– 1777. Впровадження планів управління ризиками затоплення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На виконання Постанови [3] відповідно до статей 4, 6 і 7 Директиви 2007/60/ЄС ДСНС України розробила й опублікувала такі документи:

– «Методика попередньої оцінки ризиків затоплення», затверджена Наказом МВС України від 17 січня 2018 р. № 30 [4];

– «Методика розроблення карт загроз і ризиків затоплення», затверджена Наказом МВС України від 28 лютого 2018 р. № 153 [5];

– «Порядок розроблення плану управління ризиками затоплення», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України від 4 квітня 2018 р. № 247 [6].

Аналіз документів [4–6], а також публікацій [7; 8] за тематикою досліджень проблеми паводків свідчить про складність їхнього практичного використання під час оцінювання ризиків затоплення й розроблення планів управління ризиками затоплення. Ці документи містять комплекс посилань, загальних рекомендацій і пропозицій без викладення чіткого алгоритму здійснення цілісної багатоступеневої процедури оцінки ризиків затоплення і розроблення планів управління ризиками затоплення. Через брак універсального алгоритмізованого підходу до управління паводковими ризиками розробники змушені самі обирати принципові варіанти планів управління ризиками затоплення та процедуру їх розроблення. Через це ефективність планів управління ризиками затоплення та ступінь їхньої координованості значною мірою залежатиме від інтуїції та практичного досвіду розробників.

Виділення не вирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Отже, ухваленням Постанови [3] Україна виявила бажання приєднатися до інших держав Європи для спільного розв'язання проблеми паводків, а розробленням документів [4–6] здійснила перші кроки в напрямі імплементації Директиви 2007/60/ЄС до законодавства України з водної політики. Однак для ефективного впровадження Директиви 2007/60/ЄС виникла актуальна потреба вдосконалення методичних основ оцінки ризиків затоплення та процедури розроблення планів управління ризиками затоплення.

Мета дослідження – створити відповідно до Директиви 2007/60/ЄС науково-методичний інструментарій оцінки ризиків затоплення і розроблення

планів управління ризиками затоплення в річкових басейнах.

Основним завданням дослідження є аналіз і вдосконалення концептуальних і науково-методичних основ розв'язання проблеми паводків, викладених у міжнародних і вітчизняних законодавчих документах.

Методика дослідження. В основу методики дослідження покладено системний інтегрований підхід до аналізу комплексу складників паводкових загроз і обґрунтування ефективних заходів захисту від паводків.

Виклад основного матеріалу. Основним результатом дослідження є науково-методичний інструментарій оцінки ризиків затоплення та розроблення планів управління ризиками затоплення в річкових басейнах, який не суперечить основним положенням Директиви 2007/60/ЄС і пропонується як методичне забезпечення її впровадження. Результати дослідження викладено в розділах, назви яких обрано відповідно до назв глав Директиви 2007/60/ЄС.

1. Загальні положення. У дослідженні використано терміни, наведені в главі 1 [1], та додатково застосовано такі основні терміни й визначення:

– забезпеченість паводка – вірогідність перевищення статистично встановленої максимальної в певному році витрати води в річці;

– зона затоплення – територія в річковому басейні, яка затоплюється внаслідок проходження паводка певної забезпеченості;

– зона паводкових ризиків – територія в річковому басейні, контур якої збігається з контуром зони затоплення паводком найменшої забезпеченості;

– розрахунковий гідрометричний створ річки – гідрометричний створ річки, витрата паводкового потоку в якому найбільш адекватно відображає параметри зони затоплення і приймається за основний гідрологічний параметр паводка на стадії оцінки й управління ризиками затоплення;

– управління ризиками затоплення – здійснення комплексу заходів, призначених на зменшення або відвернення негативних наслідків затоплення;

– показник (індекс) ефективності управління ризиками затоплення – оцінений у грошових одиницях позитивний ефект заходів захисту від паводків, що випадає на одиницю вартості витрат на здійснення захисних заходів.

Інші терміни й визначення з обґрунтуванням доцільності їх застосування наведено в наступних розділах роботи.

2. Попередня оцінка ризиків затоплення. Під час попередньої оцінки ризиків затоплення здійснюють збір та аналіз статистичних даних проходження паводків у басейні річки та опис наслідків затоплень, що відбулися за минулий період. Попередню оцінку ризиків затоплення здійснюють за трьома критеріальними показниками: інтенсивність паводка; зона

затоплення; наслідки затоплення (втрата і збиток від затоплення).

Першим критеріальним показником ризиків затоплення є інтенсивність паводка. Цей показник є визначальним, оскільки два інших критеріальних показники – зона затоплення та наслідки затоплення – функціонально залежать від нього й можуть бути визначені за його величиною шляхом виконання відповідних прогнозів і розрахунків. Інтенсивність паводка оцінюється перевищенням витрати паводкового потоку води в річці щодо витрати в межений період і може бути визначена різними способами. У гідрології інтенсивність паводка заведено визначати забезпеченістю паводка [9]. Для визначення забезпеченості паводка в кожному m -му році спостережень минулого періоду враховують тільки максимальну за рік витрату води Q_m в створі річки, яку розміщують у ряд (1) в порядку послідовного зменшення:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_m \geq \dots \geq Q_{n-1} \geq Q_n, \quad (1)$$

де m – порядковий номер року в ряду; n – кількість років спостережень.

Забезпеченість паводка p_m в m -му році визначають як вірогідність (у відсотках) перевищення витрати води в річці значення Q_m за формулою:

$$p_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\% \cdot [9] \quad (2)$$

Згідно з [1] інтенсивність паводків рекомендовано оцінювати показником вірогідності, за яким кожен паводок із витратою Q_m оцінюють кількістю паводків, що на періоді часу в 100 років мають витрату $Q \geq Q_m$. Така оцінка логічно підтверджується, якщо припустити, що в кожному році минулого періоду тривалістю у 100 років було отримано низку емпіричних даних:

$$Q_1 \geq Q_2 \geq Q_3 \geq \dots \geq Q_m \geq \dots \geq Q_{99} \geq Q_{100}. \quad (3)$$

Визначимо забезпеченість паводка \bar{p}_m m -го року в долях одиниці:

$$\bar{p}_m = \frac{p_m}{100\%} = \frac{m}{100+1} \cong \frac{m}{100}. \quad (4)$$

За умови (3) згідно з (4) маємо: $p_m = m$. Оскільки $n=100$, то m є одночасно і порядковим номером ряду (3) і кількістю (частотою повторення) паводків, що в період часу у 100 років мають витрату $Q \geq Q_m$. Тобто частота паводка в період часу у 100 років відповідає його забезпеченості, визначеній у відсотках. Це належить також до паводків забезпеченістю $p < 1\%$. Наприклад, для паводка забезпеченістю $p=0,5\%$ частота повторення становить $0,5/100=1/200$.

У роботі [10] запропоновано паводки класифікувати за п'ятьма базовими рівнями їхньої інтенсивності (за забезпеченістю p): $p=100\%$ (малий або щорічний); $p=25\%$ (середній); $p=5\%$ (великий); $p=2\%$ (катастрофічний); $p \leq 1\%$ (видатний).

Оскільки основним причинним фактором затоплення є витрата води в гідрометричному створі річки, то для оперативного розроблення карт небезпек і карт ризиків затоплення паводками різної забезпеченості виникає потреба визначати для кожної зони паводкових ризиків функціональну залежність витрати води Q від забезпеченості паводка p . Для цього, використовуючи статистичні дані гідрологічних вимірювань за попередні роки, за емпіричними точками 1 (Q_m, p_m) спочатку будують емпіричну криву 2 (рис. 1), а потім визначають залежність $Q=f_1(p)$ у вигляді спадної гіперболічної функції:

$$Q = \frac{k_1}{p} + k_2. \quad [11] \quad (5)$$

Коефіцієнти k_1 і k_2 функції (5) знаходять, використовуючи множину емпіричних точок (Q_m, p_m), за методом найменших квадратів із системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} k_1 &= \frac{n \sum_{m=1}^n \frac{Q_m}{p_m} - \sum_{m=1}^n \frac{1}{p_m} \cdot \sum_{m=1}^n Q_m}{n \sum_{m=1}^n \left(\frac{1}{p_m}\right)^2 - \left(\sum_{m=1}^n \frac{1}{p_m}\right)^2}; \\ k_2 &= \frac{\sum_{m=1}^n Q_m - k_1 \sum_{m=1}^n \frac{1}{p_m}}{n}. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

Отже, маючи незначну кількість (4...7) емпіричних точок (Q_m, p_m), отриманих за результатами гідрологічних вимірювань за минулі роки, можна, користуючись залежністю (5), визначати витрату води

в річці в період походження паводка будь-якої забезпеченості, а отже оцінювати ризики затоплення для будь-якого сценарію надзвичайного випадку. За п. 3 ст. 6 [1] пропонується розроблювати карти небезпек для трьох сценаріїв надзвичайних випадків: затоплення низького, середнього і високого рівня вірогідності. Вважається, що так було запропоновано через недоцільність обміну між країнами ЄС тією інформацією про паводки, які не становлять загрози іншим країнам у басейнах транскордонних річок. Проте для досягнення високої ефективності управління ризиками затоплення в межах кожної країни варто розглядати більшу кількість сценаріїв, наприклад таких, що відповідають п'ятьом базовим рівням інтенсивності паводків (поз. 4...8 на рис. 1).

Другим критеріальним показником ризиків затоплення є зона затоплення. Її на стадії попередньої оцінки ризиків затоплення визначають за результатами спостережень за минулі роки за такими основними параметрами: контур затоплення, площа затоплення, максимальна і середня глибина затоплення.

Третім критеріальним показником ризиків затоплення є наслідки затоплення, або наслідки шкідливого впливу паводків на життєдіяльність людей у зонах затоплення та на прилеглих до них територіях. Наслідки затоплення визначають за величиною втрати від паводка й розміром збитку від паводка.

Втрату від паводка визначають у фізичних величинах за трьома її складовими: соціальна втрата – втрата життя і здоров'я людей, а також втрата умов

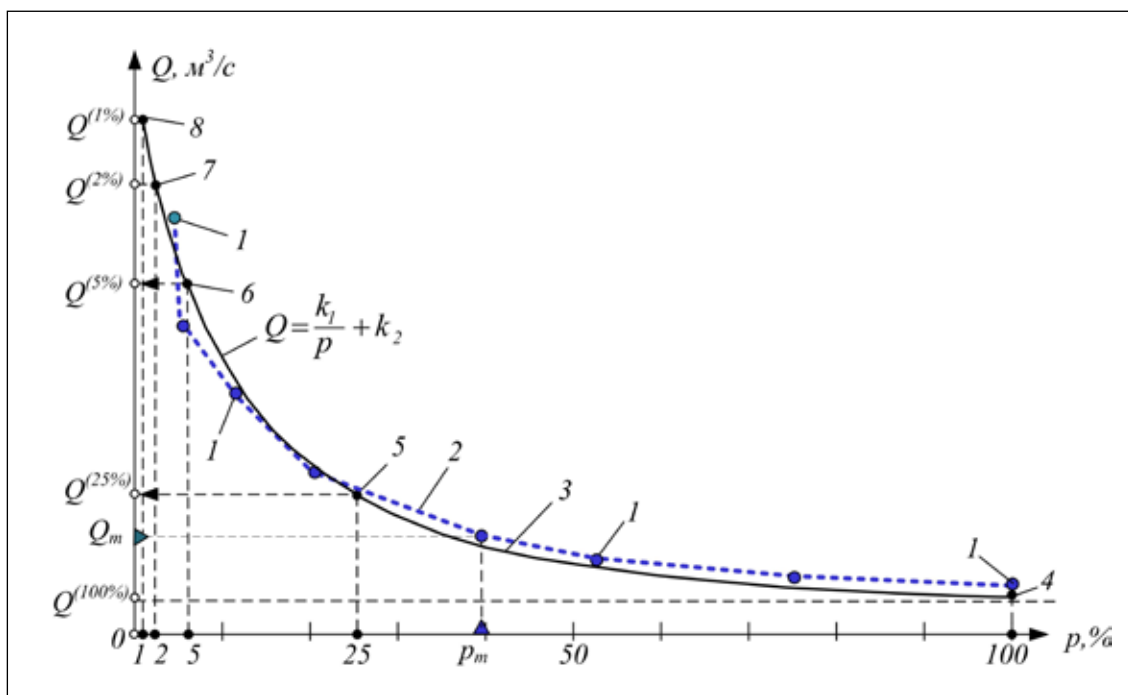


Рис. 1. Результати гідрологічних досліджень витрати води в річці: 1 – емпіричні точки (Q_m, p_m); 2 – емпірична крива; 3 – теоретична крива $Q=f_1(p)$; 4...8 – точки на кривій 3, відповідні п'ятьом базовим рівням інтенсивності паводків

комфортного проживання населення; екологічна втрата – втрата первинного екологічного стану навколишнього середовища, а також якісних і кількісних показників природних ресурсів; економічна втрата – втрата споживчих та функціональних властивостей об'єктів виробничої сфери та господарської діяльності населення.

Під збитком від паводка розуміють оцінену в грошових одиницях втрату від паводка. Отже, відповідно до складників втрати від паводка, визначених у фізичних величинах, використовуючи методичні засади розрахунку складників збитків від паводків [12; 13], розраховують у грошових одиницях: соціальний, екологічний і економічний збиток від паводка (табл. 1).

3. Розроблення карт небезпек затоплення і карт ризиків затоплення. Для кожної зони паводкових ризиків річкового басейну карти небезпек затоплення і карти ризиків затоплення розроблюють чотирма етапами.

На першому етапі розроблюють інтегровану картосхему зон затоплення паводками різної забезпеченості (рис. 2), параметри яких були визначені на стадії попередньої оцінки ризиків затоплення паводком певного минулого року спостережень та занесені до таблиці 1. Оскільки основним причинним фактором ризику затоплення є підвищення витрати води в річці, то важливе значення має вибір гідрометричного створу річки, витрату води в якому слід враховувати як під час попередньої оцінки небезпек затоплення, так і при розробленні карт небезпек затоплення і карт ризиків затоплення. Якщо для короткострокового (3–7 діб) прогнозування наближення паводка до зони паводкових ризиків виникає необхідність вимірювати витрату води в руслі річки починаючи з її верхів'я, то для оцінки та прогнозу-

вання параметрів зон затоплення варто використовувати гідрометричні створи максимально наближені до зони паводкових ризиків. Один із таких створів приймають за розрахунковий.

У розрахунковому гідрометричному створі динаміка зміни гідрологічних показників повинна найбільш адекватно відображати динаміку зміни параметрів зони затоплення і наслідків проходження паводка [11]. Очевидно, що серед двох, представлених на рис. 2, гідрометричних створів 3 і 4 розрахунковим слід вважати створ 4, оскільки витрата води Q_{m2} в цьому створі більша ніж витрата Q_{m1} у створі 3 і відображає реальну гідрологічну ситуацію в зоні паводкових ризиків 7. Витрата води Q_{m2} функціонально залежить від стоку річки 1 (Q_{m1}), стоку притоки 2 ($Q_{m^{np}}$) і поверхневого стоку ($Q_{m^{on}}$) з інших площ басейну річки 1, спрямованого до зони паводкових ризиків 5 в момент інтенсивних дощів та танення снігу.

Крім того, на відміну від створу 3, у створі 4 витрата води Q_{m2} адекватно відображає параметри зон затоплення і ризики затоплення також після здійснення превентивних протипаводкових заходів (рис. 3): локального захисту території в межах зони паводкових ризиків (поз. 12); захисту русла і берегів річки і притоки (поз. 13); захисту від затоплення за допомогою протипаводкового водосховища рівнинного типу (поз. 14); захисту за допомогою протипаводкового водосховища гірського типу (поз. 15).

На другому етапі на основі інтегрованої картосхеми зон затоплення паводками минулих років (рис. 2), будують інтегровану карту небезпек затоплення (рис. 3) з зображенням контурів 6–10 зон затоплення паводками п'яти базових рівнів інтенсивності: 6 ($p=100\%$); 7 ($p=25\%$); 8 ($p=5\%$); 9 ($p=2\%$); 10 ($p=1\%$). Параметри зони затоплення паводком

Таблиця 1

Результати попередньої оцінки втрати і збитку від паводків у зоні ризиків

Критеріальні показники	Параметри		Роки спостережень					№ рядка
	Назва	Од. виміру	1	...	m	...	n	
Інтенсивність паводка	Витрата води		Q_1	...	Q_m	...	Q_n	1
	Забезпеченість паводка		%	P_1	...	P_m	...	P_n
Зона затоплення	Контур зони затоплення		*згідно картосхем					3
	Площа затоплення		тис. м ²					4
	Глибина затоплення	максимальна	м					5
		середня	м					6
Наслідки затоплення	Втрата від паводка	соціальна	**у фізичних одиницях згідно актів обстеження зон затоплення					7
		екологічна						8
		економічна						9
		загальна						10
	Збиток від паводка	соціальний	тис. грн./рік					11
		екологічний						12
		економічний						13
		загальний						14

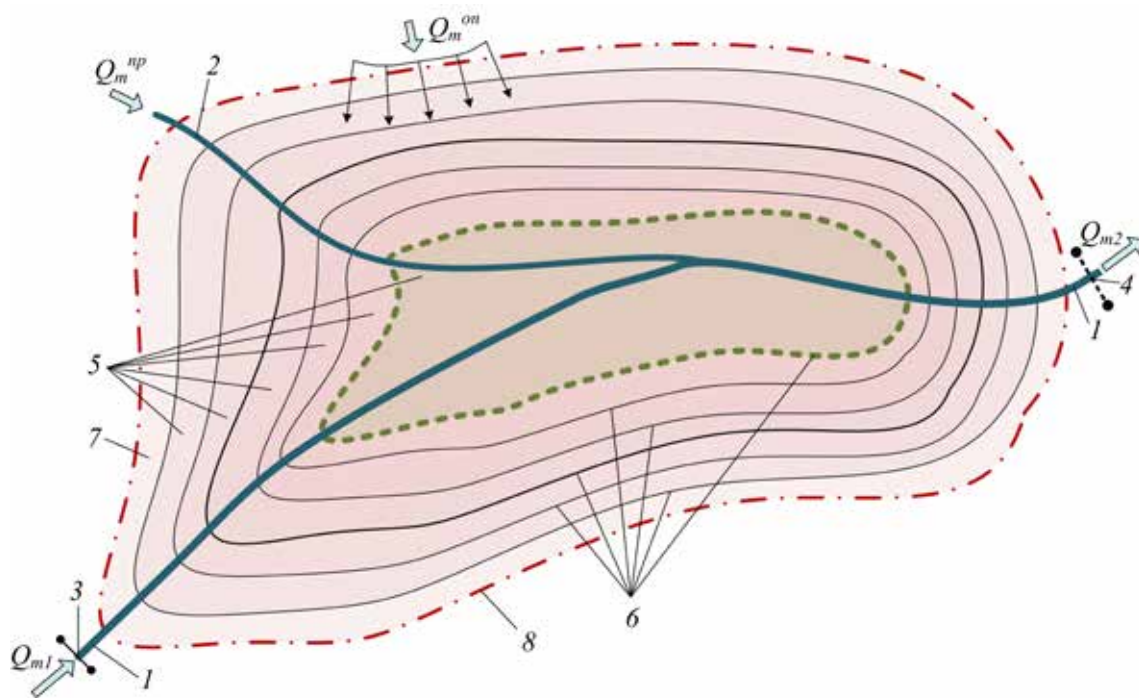


Рис. 2. Інтегрована картосхема зон затоплення паводками минулих років: 1 – річка; 2 – притока річки; 3 – гідрометричний створ перед зоною паводкових ризиків; 4 – розрахунковий гідрометричний створ; 5 – зони затоплення паводками різної забезпеченості p ($p_{max} \geq p \geq p_{min}$); 6 – контури зон затоплення паводками забезпеченості p ; 7 – зона паводкових ризиків; 8 – контур зони паводкових ризиків

i -го базового рівня інтенсивності ($i=1\dots5$) визначають у такій послідовності:

$$p_i \rightarrow Q_i \rightarrow \Omega_i \rightarrow S_i \rightarrow h_i^{max}, \quad (7)$$

де p_i – забезпеченість паводка, %; Q_i – пікове значення витрати паводка, m^3/c ; Ω_i – контур зони затоплення; S_i – площа зони затоплення, m^2 , h_i^{max} – максимальна глибина зони затоплення, m .

Витрату Q_i визначають залежно від забезпеченості паводка i -го базового рівня інтенсивності за формулою (5). Контур Ω_i і параметри S_i , h_i зони затоплення паводком i -го рівня інтенсивності визначають шляхом розрахунків із застосуванням методів інтерполяції [14], використовуючи наведені у таблиці 1 та на картосхемі (рис. 2) контури Ω_m і параметри S_m , h_m зон затоплення паводком з витратою Q_m , найбільш наближеною до витрати Q_i ($Q_m = Q_{m2} \rightarrow Q_i$).

На третьому етапі для кожної j -ї зони паводкових ризиків річкового басейну будують п'ять окремих карт небезпек затоплення, використовуючи інтегровану карту небезпек затоплення (рис. 3). В кожній з цих карт відповідно до п'яти базових сценаріїв надзвичайних випадків зображують контур тільки однієї зони затоплення паводком одного з п'яти базових рівнів інтенсивності.

На четвертому етапі для кожної j -ї зони паводкових ризиків річкового басейну будують п'ять карт ризиків затоплення на основі п'яти карт небезпек затоплення. Карти ризиків зато-

плення відрізняються від карт небезпек затоплення тим, що на них додатково символами зображують об'єкти затоплення (населені пункти, газопроводи, лісові насадження, сільгоспугіддя, рекреаційні зони, автотраси, підприємства тощо). До кожної карти ризиків затоплення додається інформація про об'єкти та наслідки потенційного затоплення у вигляді таблиці 2, а також розрахунки втрат і збитків від паводка.

Складові втрати Vm_i визначають за контуром Ω_i і параметрами S_i , h_i зони затоплення паводком базового i -го рівня інтенсивності з урахуванням об'єктів, що знаходяться в межах зони затоплення, та потенційно можливого впливу паводка на зменшення корисних якісних і кількісних властивостей цих об'єктів.

Складові збитку Z_i визначають за фізичними величинами складових втрати Vm_i в індексованих на момент виконання розрахунків цінах.

Для кожного i -го сценарію затоплення основним показником наслідків є загальний (зональний) річний збиток Z_p , який розраховують за формулою:

$$Z_i = \sum_{\eta=1}^N Z_{i\eta} = \sum_{\eta=1}^N (Z_{i\eta}^{Cu} + Z_{i\eta}^{Ekl} + Z_{i\eta}^{Ekn}), \quad (8)$$

де $Z_{i\eta}$ – локальний (об'єктний) збиток в зоні паводкових ризиків, який складається з соціального $Z_{i\eta}^{Cu}$, екологічного $Z_{i\eta}^{Ekl}$ і економічного $Z_{i\eta}^{Ekn}$ збитків, завданих η -му об'єкту паводком базового i -го рівня інтенсивності, тис. грн./рік.

Карти ризиків затоплення, таблиці 2 та додатки до них розроблюють для оцінки основного показника ризику затоплення – загального потенційно можливого річного збитку від паводка кожного з п’яти базових рівнів інтенсивності. Далі, маючи п’ять карт ризиків затоплення та п’ять таблиць 2 до них, виникає потреба визначення для певної j -ї зони

паводкових ризиків функціональної залежності загального річного збитку Z_j від паводка будь-якої забезпеченості p та подальшого використання цієї залежності на стадії управління ризиками затоплення. Для цього згідно з [11] залежність $Z_j=f_2(p)$ апроксимують (рис. 4) спадною гіперболічною функцією:

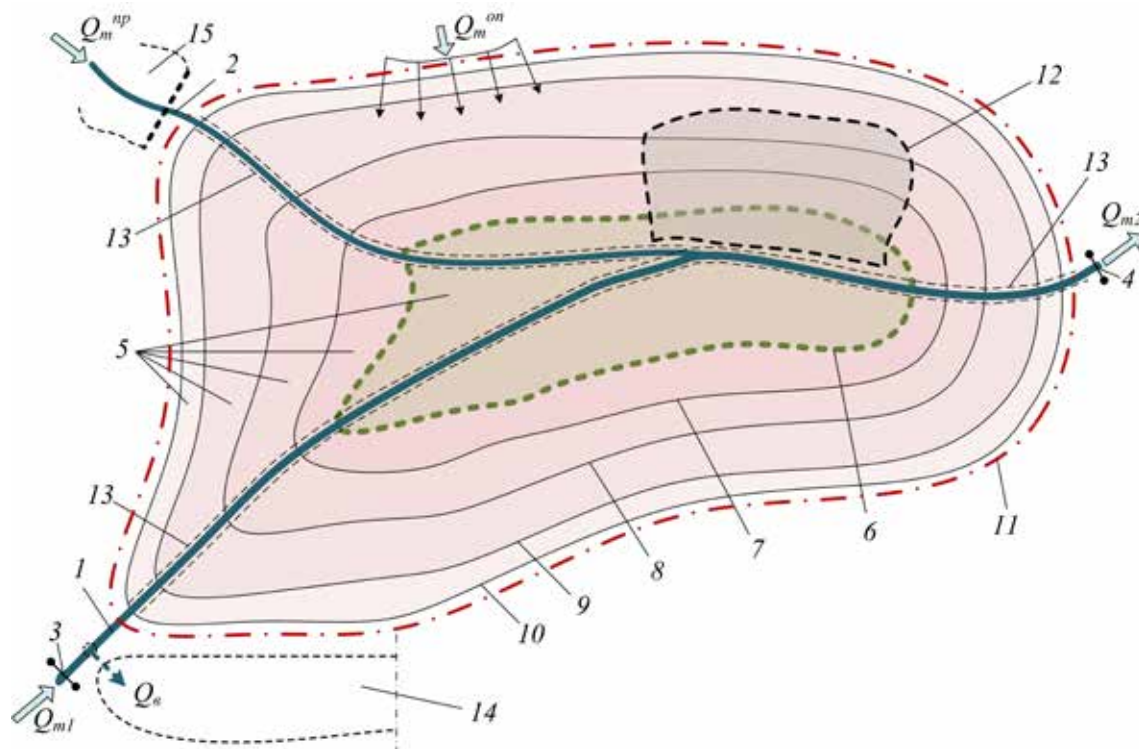


Рис. 3. Інтегрована карта небезпек затоплення, побудована за результатами прогнозування зон затоплення паводками базових рівнів інтенсивності: 1 – річка; 2 – притока річки; 3 – гідрометричний створ перед зоною паводкових ризиків; 4 – розрахунковий гідрометричний створ; 5 – зона паводкових ризиків з контурами зон затоплення паводком забезпеченості 100%, 25%, 5%, 2%, 1%; 6, 7, 8, 9, 10 – контур зони затоплення паводком забезпеченості 100%, 25%, 5%, 2%, 1%; 11 – контур зони паводкових ризиків ($p \leq 1\%$); 12 – локальний протипаводковий захист території в межах зони паводкових ризиків; 13 – протипаводковий захист русла річки та притоки; 14 – протипаводкове водосховище рівнинного (польдерного) типу; 15 – протипаводкове водосховище гірського типу

Таблиця 2

Об’єкти j -ї зони паводкових ризиків річкового басейну та потенційні наслідки їх затоплення паводком i -го базового рівня інтенсивності

Об’єкти затоплення		Наслідки затоплення паводком i -го рівня вірогідності						
№ на карті ризиків	Назва	*Втрата			**Збиток, тис. грн./рік			
		Соці-альна	Еколо-гічна	Еконо-мічна	Соці-альний	Еколо-гічний	Еконо-мічний	Лока-льний
1	Село Прирічне	$Vm_{i1}^{Cц}$	$Vm_{i1}^{Екл}$	$Vm_{i1}^{Екн}$	$Z_{i1}^{Cц}$	$Z_{i1}^{Екл}$	$Z_{i1}^{Екн}$	Z_{i1}
2	Сільгоспугіддя	$Vm_{i2}^{Cц}$	$Vm_{i2}^{Екл}$	$Vm_{i2}^{Екн}$	$Z_{i2}^{Cц}$	$Z_{i2}^{Екл}$	$Z_{i2}^{Екн}$	Z_{i2}
3	Лісова смуга	$Vm_{i3}^{Cц}$	$Vm_{i3}^{Екл}$	$Vm_{i3}^{Екн}$	$Z_{i3}^{Cц}$	$Z_{i3}^{Екл}$	$Z_{i3}^{Екн}$	Z_{i3}
...
N	Автотраса	$Vm_{iN}^{Cц}$	$Vm_{iN}^{Екл}$	$Vm_{iN}^{Екн}$	$Z_{iN}^{Cц}$	$Z_{iN}^{Екл}$	$Z_{iN}^{Екн}$	Z_{iN}
	Всього	$Vm_i^{Cц}$	$Vm_i^{Екл}$	$Vm_i^{Екн}$	$Z_i^{Cц}$	$Z_i^{Екл}$	$Z_i^{Екн}$	Z_i
Загальна втрата Vm_i				Загальний річний збиток Z_i				

* Складові втрат від паводків в таблиці наводять у вигляді символів, а фізичні величини втрат та їх розрахунки наводять в додатках. ** Кількісні показники збитків від паводків наводять в таблиці, а їх розрахунки в додатках

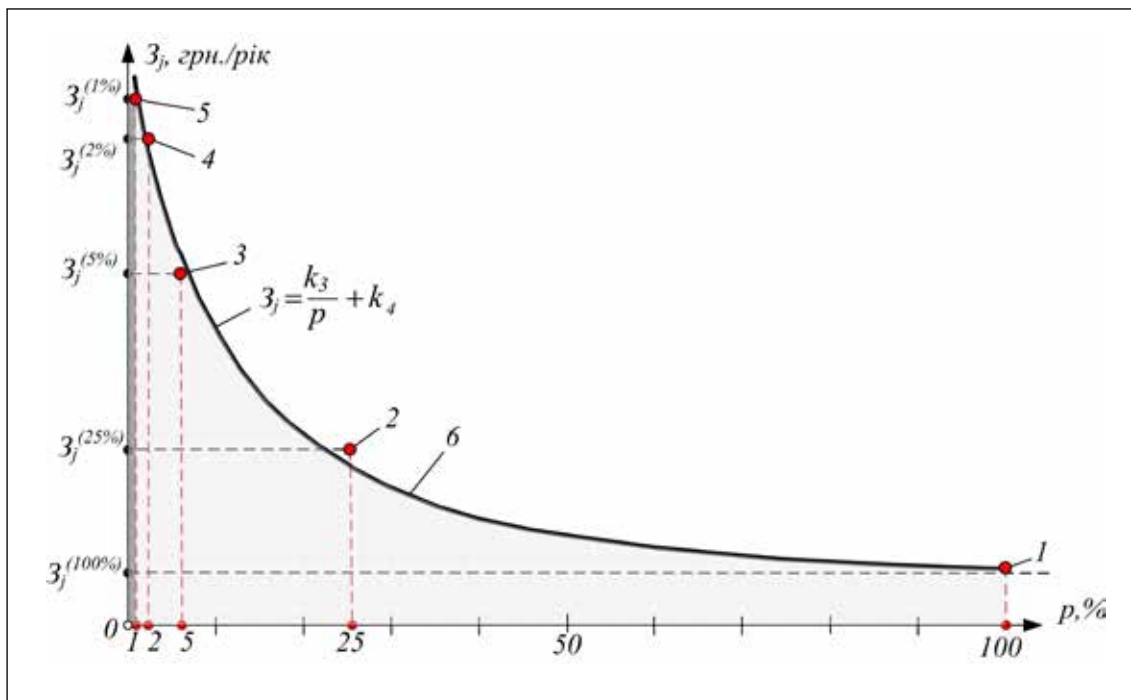


Рис. 4. Апроксимація гіперболічною залежністю загального річного збитку Z_j від забезпеченості паводка p в j -й зоні паводкових ризиків: 1-5 – розрахункові за формулою (9) точки (Z_i, p_i) , відповідні n 'ятьом базовим рівням інтенсивності паводка ($i=1-5$); 6 – графік функції $Z_j=f_2(p)$

$$Z_j = \frac{k_3}{p} + k_4 \quad (9)$$

За параметрами (Z_j, p_i) розрахункових точок 1-5 (рис. 4), використовуючи метод найменших квадратів, знаходять коефіцієнти k_3 і k_4 з системи рівнянь:

$$\begin{cases} k_3 = \frac{5 \sum_{i=1}^5 \frac{Z_i}{p_i} - \sum_{i=1}^5 \frac{1}{p_i} \cdot \sum_{i=1}^5 Z_i}{5 \sum_{i=1}^5 \left(\frac{1}{p_i}\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^5 \frac{1}{p_i}\right)^2}; \\ k_4 = \frac{\sum_{i=1}^5 Z_i - k_3 \sum_{i=1}^5 \frac{1}{p_i}}{5} \end{cases} \quad (10)$$

Визначення ризиків затоплення за гідрологічними показниками за формулою (5) і показниками збитку за формулою (9) дає змогу на основі статистичних даних відносно невеликої кількості паводків минулого періоду здійснювати довгострокове прогнозування паводків на майбутній період.

Зваживши на основний принцип дослідження паводків, який полягає у необхідності врахування протягом одного року тільки одного найбільш інтенсивного паводка [9], а також на те, що кількість паводків, які повторюються протягом 100 років, відповідає величині їх забезпеченості, визначеній у відсотках, довгострокове прогнозування паводків доцільно здійснювати на майбутній період часу у 100 років. У такому разі, замінивши параметр

часу t на параметр забезпеченості паводків p , довгострокове прогнозування паводків за гідрологічними показниками і показниками збитків можна здійснювати на періоді часу у 100 років шляхом інтегрування функцій (5) і (9). Важливими показниками оцінки ризику затоплення та рівня паводкової небезпеки в j -й зоні паводкових ризиків є середньорічна витрата паводка Q_j^{cp} в розрахунковому гідрометричному створі і середньорічний збиток Z_j^{cp} від паводка. Для їх прогнозування застосовують формули:

$$Q_j^{cp} = \frac{1}{100 - p_0} \int_{p_0}^{100} \left(\frac{k_1}{p} + k_2 \right) dp = \frac{(k_1 \ln p + k_2 p) \Big|_{p_0}^{100}}{100 - p_0} = \frac{k_1 \ln(100 - p_0)}{100 - p_0} + k_2; \quad (11)$$

$$Z_j^{cp} = \frac{1}{100 - p_0} \int_{p_0}^{100} \left(\frac{k_3}{p} + k_4 \right) dp = \frac{k_3 \ln(100 - p_0)}{100 - p_0} + k_4, \quad (12)$$

де Q_j^{cp} – середньорічна пікова витрата води в розрахунковому створі річки, м³/с; Z_j^{cp} – середньорічний збиток від паводка в j -й зоні паводкових ризиків, тис. грн./рік (тис. грн./паводок); p_0 – мінімальна для j -ї зони паводкових ризиків величина забезпеченості паводка, яку встановлюють згідно статистики паводків в зоні паводкових ризиків за минулі роки, % (зазвичай приймають $p_0 \approx 1\%$).

4. Розроблення планів управління ризиками затоплення. У планах управління ризиками затоплення визначають комплекс заходів, призначених

для зменшення або відвернення негативних наслідків затоплення, та порядок виконання цих заходів. Розрізняють два принципово відмінних типи захисту від паводків: ситуаційний і превентивний. Захист ситуаційного типу виконують шляхом короткострокового прогнозування паводків та здійснення захисних заходів в період від виникнення до завершення паводкової ситуації, а превентивний тип захисту виконують шляхом довгострокового прогнозування паводків та здійснення превентивних заходів, головним чином гідротехнічних. Отже, залежно від типу захисту, протипаводкові заходи поділяють на ситуаційні і превентивні. Їх ще розрізняють за видами, варіантами та порядком виконання (табл. 3) [10].

Захист від паводків потребує значних фінансових і матеріальних витрат, тому під час розроблення планів управління ризиками затоплення для кожної j -ї зони паводкових ризиків слід обирати оптимальний тип, вид та варіант протипаводкових заходів, використовуючи схему (табл. 3) та цільову функцію:

$$I_j = \frac{BZ_j^{cp}}{B_j^{cp}} \rightarrow \max, \quad (13)$$

де I_j – індекс ефективності плану управління ризиками затоплення; BZ_j^{cp} – відвернені збитки, які за величиною відповідають середньорічним збиткам ($BZ_j^c = 3_j^{cp}$) і враховуються як позитивний ефект здійснення протипаводкових заходів, тис. грн./рік; B_j^{cp} – середньорічні капітальні і поточні витрати на здійснення заходів, тис. грн./рік.

Встановлено, що в басейнах паводковонебезпечних річок превентивні заходи мають більший індекс ефективності [10; 11]. Проте, в основу розроблення планів управління ризиками затоплення слід закласти ситуаційні заходи, оскільки превентивні заходи виконують переважно із застосуванням захисних споруд, які на момент розроблення планів можуть бути ще не побудовані.

Для кожної j -ї зони паводкових ризиків річкового басейну розроблюють п'ять планів управління ризиками затоплення, поклавши в їх основу п'ять карт ризиків затоплення паводками п'яти базових рівнів інтенсивності. Плани управління ризиками затоплення j -ї зони паводкових ризиків повинні містити комплекс ситуаційних заходів, які спільні за їх видами (попереджувальні, аварійно-рятувальні, аварійно-відновлювальні), але відрізняються переліком та обсягом робіт, залежно від закладеного в їх основу одного з п'яти базових сценаріїв затоплення. Плани управління ризиками затоплення також повинні містити заходи регулювання паводкового потоку за допомогою захисних споруд (огорожувальних дамб, берегозахисних покриттів, водосховищ та ін.), які були раніше побудовані на стадії здійснення превентивних заходів.

Оскільки гідрологічний стан в j -й зоні паводкових ризиків впливає на гідрологічний стан нижче розташованих зон паводкових ризиків, розроблення карт небезпек затоплення, карт ризиків затоплення та планів управління ризиками затоплення треба починати з верхів'я річки та її приток. Після здійснення кожного превентивного заходу в j -й зоні паводкових ризиків варто виконувати корегування карт небезпек затоплення, карт ризиків затоплення та планів управління ризиками затоплення як для j -ї, так і для всіх нижче розташованих зон паводкових ризиків гідрографічного басейну, який може бути розташований на території декількох країн.

Головні висновки. Проблему паводків розглянуто як одну з глобальних проблем людства, для рішення якої на міжнародному рівні була прийнята Директива 2007/60/ЄС «Про оцінку і управління ризиками затоплення». Проте встановлено, що основні положення цієї Директиви, а також розроблені методичні документи її впровадження

Таблиця 3

Системна схема управління ризиками затоплення

Управління ризиками затоплення	Обґрунтування заходів захисту від паводків			Тип захисту від паводків							
				Ситуаційний			Превентивний				
	Розробка карт небезпек затоплення	Розробка карт ризиків затоплення	Реагування на паводки	Короткостроковий			Довгостроковий				
				Прогноз паводків	Попереджувальні	Аварійно-рятувальні	Аварійно-відновлювальні	Адаптаційні	Водно-ландшафтні	Гідротехнічні	
			Протипаводкові заходи								
			Види заходів								
			Порядок виконання	Послідовне виконання всіх видів ситуаційних заходів в єдиному процесі в період наближення, проходження і завершення паводків			Виконання одного з видів превентивних заходів, обраного за результатами обґрунтування їх технічної надійності і економічної ефективності				

в Україні, не містять універсального строго алгоритмізованого підходу до управління паводковими ризиками, а мають загальний рекомендаційний характер, що зумовлює певні труднощі розробки планів управління паводковими ризиками в річкових басейнах.

Відповідно до основних положень Директиви 2007/60/ЄС створено принципово новий науково-методичний інструментарій оцінки ризиків затоплення та розроблення планів управління ризиками затоплення, за яким у річковому басейні виділяють зони паводкових ризиків, у межах яких розрізняють п'ять зон затоплення паводками п'яти базових рівнів інтенсивності, визначених за фіксованими рівнями вірогідності паводків.

Ризики затоплення запропоновано оцінювати за гідрологічними показниками паводків і показниками збитку від паводків, які представлено у вигляді спадних гіперболічних функцій забезпеченості паводків.

Запропоновано системну схему управління ризиками затоплення, за якою заходи захисту від паводків запропоновано ділити на ситуаційні і превентивні,

а також розрізняти заходи за видами, варіантами та порядком виконання.

В основу розроблення планів управління ризиками затоплення запропоновано закладати ситуаційні заходи з урахуванням раніше виконаних превентивних заходів, а після здійснення кожного наступного превентивного заходу плани запропоновано корегувати.

Розроблення та корегування планів управління ризиками затоплення запропоновано починати з вищерозташованих по течії річки зон затоплення.

Перспективи використання результатів дослідження. Створений за результатами дослідження новий науково-методичний інструментарій оцінки ризиків затоплення та розроблення планів управління ризиками затоплення містить більш досконалу алгоритмізовану процедуру управління паводковими ризиками, використання якої забезпечить підвищення ефективності заходів протипаводкового захисту в річкових басейнах, а також прискорить процес впровадження Директиви 2007/60/ЄС в Україні та країнах ЄС.

Література

1. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 року «Про оцінку і управління ризиками затоплення».
2. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики».
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 жовтня 2017 р. № 1106 «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони».
4. Наказ МВС України від 17 січня 2018 р. № 30 «Про затвердження Методики попередньої оцінки ризиків затоплення».
5. Наказ МВС України від 28 лютого 2018 р. № 153 «Про затвердження Методики розроблення карт загроз і ризиків затоплення».
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 квітня 2018 р. № 247 «Про затвердження Порядку розроблення плану управління ризиками затоплення».
7. Козицький О.М., Шевчук С.А., Шевченко І.А. Моніторинг і управління гідрологічними ризиками в басейнах річок України. *Зб. матер. Міжнар. наук.-практ. конф. «Природа для води», присвяченої Всесвітньому дню води (22 березня 2018 р.)*. Київ : НААН України, ІВПіМ НААН, Глобальне водне партнерство. 2018. С. 87–88.
8. Козицький О.М., Шевчук С.А., Шевченко І.А. Визначення рівнів паводкового ризику в басейнах річок України. *Меліорація і водне господарство*. 2019. Вип. 110. С. 157–166.
9. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. Госстрой СССР. Москва : Стройиздат, 1985. 36 с.
10. Петроченко А.В. Классификация паводков и систематизация противопаводковых мероприятий. *Меліорація*. Минск, 2019. № 3 (89). С. 30–37.
11. Петроченко В.И., Петроченко А.В. Научно-методическое обоснование систем превентивной противопаводковой защиты территорий в бассейнах рек. *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2018. № 2 (110): Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. С. 44–48.
12. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175.
13. Петроченко В.І., Сташук В.А. Еколого-економічна ефективність протипаводкових заходів. Київ : ДІУЕВР. 2009. 62 с.
14. Методические указания к решению задач по интерполяции функций. Составители: Калашников А.Л., Потёмин Г.В., Федоткин А.М., Фокина В.Н. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород : Нижегородский госуниверситет, 2016. 35 с.