

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ENVIRONMENTAL SAFETY AND NATURAL RESOURCES

УДК 627.51 : 001.8

Oleksiy Petrochenko, PhD, Director of the Institute of Innovative Education
ORCID ID: 0000-0003-2184-4811 *e-mail*: a_petr89@ukr.net

Institute of Innovative Education of Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

THE PROBLEM OF FLOODING AND ANALYSIS OF THE WAYS OF ITS SOLUTION

Abstract. *An analysis of literary sources and informational materials on flood situations that occurred in different historical periods on different continents and in different countries was carried out. It has been established that floods accompany mankind from the earliest times to the present day. Information about catastrophic floods has been preserved since the third millennium BC, in connection with which they should be considered as a historical category. According to the World Meteorological Organization (WMO), floods account for more than 45% of natural disasters related to water (hydrological disasters), which account for about 70% of all natural disasters on the planet. Taking into account the fact that floods are among the most dangerous natural phenomena in terms of the number of victims and the amount of damage, the problem of floods should be considered global. The global nature of the flood problem is confirmed by its following features: the problem concerns all humanity, affects the interests and fate of all countries and peoples; leads to significant social, ecological and economic losses, which, if they increase, will threaten the existence of human civilization; contributes to the aggravation of other internationally recognized global problems, such as environmental, food, social (in terms of population protection), land degradation. Taking into account the fact that in recent years the incidence of catastrophic floods has increased, their social, ecological and economic consequences have increased, as well as the number of human victims from floods, the article focuses on the need to develop a highly effective scientific and methodological toolkit for solving the problem of floods and its wide use not only in Ukraine, but also in many countries of the world. It has been established that among the many areas of systemic research of the problem of floods, the main and most important area is the fundamental improvement of the conceptual foundations of flood protection. The author's version of the universal concept of solving the flood problem is proposed, which is based on a universal algorithm for achieving the target indicator of flood protection. The maximum value of the ratio of the flood protection effect to the costs of achieving this effect was chosen as the target indicator of flood protection. The protective anti-flood effect is represented by the total damage averted by anti-flood measures, which consists of averted social, ecological and economic damages.*

Key words: *flood; the problem of floods; consequences and damages from floods; anti-flood measures; systematic analysis of flood protection measures; flood protection concept; target indicator of flood protection; averted damages.*

О.В. Петrenchенко

Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

ПРОБЛЕМА ПАВОДКІВ ТА АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ЇЇ РІШЕННЯ

***Анотація.** Проведено аналіз літературних джерел та інформаційних матеріалів щодо паводкових ситуацій, які відбувались в різні історичні періоди на різних континентах і в різних країнах. Відмічено, що паводки супроводжують людство з найдавніших часів і до наших днів. Відомості про катастрофічні паводки збереглися з третього тисячоліття до нашої ери, у зв'язку з чим їх слід розглядати як історичну категорію. За даними Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), на паводки припадає понад 45% стихійних лих, що пов'язані з водою (гідрологічні лиха), які становлять близько 70% усіх стихійних лих на планеті. Зваживши на те, що паводки за кількістю жертв і розміром збитків належать до одних із найнебезпечніших природних явищ, проблему паводків слід вважати глобальною. Глобальний характер проблеми паводків підтверджується такими її ознаками: проблема стосується усього людства, зачіпає інтереси і долю всіх країн та народів; призводить до значних соціальних, екологічних та економічних збитків, які у разі їх збільшення загрожуватимуть існуванню людської цивілізації; сприяє загостренню інших міжнародно визнаних глобальних проблем, таких як екологічна, продовольча, соціальна (в частині захисту населення), деградація земель. Враховуючи те, що за останні роки почастишали випадки катастрофічних паводків, зросли їх соціальні, екологічні та економічні наслідки, а також кількість людських жертв від паводків, в статті акцентовано увагу щодо необхідності розробки високоефективного науково-методичного інструментарію рішення проблеми паводків та його широкого використання не лише в Україні, а й у багатьох країнах світу. Розглядаючи проблему паводків як глобальну багатоаспектну проблему, вказується про необхідність застосування системного підходу до її рішення. Систематизовано результати попередніх досліджень, проведених в Україні та за кордоном, а також директивних і законодавчих документів, що стосуються проблеми паводків. Встановлено, що серед багатьох напрямів напрямом є фундаментальне вдосконалення концептуальних засад протипаводкового захисту. Запропоновано авторський варіант універсальної концепції рішення протипаводкової проблеми, яка базується на універсальному алгоритмі досягнення цільового показника протипаводкового захисту. Цільовим показником протипаводкового захисту обрано максимальне значення відношення протипаводкового ефекту до витрат на досягнення цього ефекту. Захисний протипаводковий ефект представлений відвертеним протипаводковими заходами загальним збитком, який складається із відвернутих соціального, екологічного та економічного збитків.*

***Ключові слова:** паводок; проблема паводків; наслідки та збитки від паводків; протипаводкові заходи; системний аналіз заходів захисту від паводків; концепція захисту від паводків; цільовий показник протипаводкового захисту; відвернуті збитки.*

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.2.5-22>

Вступ

Від паводків людство потерпає протягом усього періоду свого існування. З найдавніших часів люди змушені були захищати від паводків власне життя та майно. Незважаючи на сучасний технічний прогрес, який сприяв впровадженню в багатьох країнах світу більш досконалих інженерних протипаводкових споруд, кількість людських жертв та розмір збитків від паводків з кожним роком зростають з неймовірною швидкістю. У другій половині минулого століття збитки від паводків на земній кулі зросли приблизно у 10 разів. В окремі роки збитки від паводків перевищують 200 млрд доларів США і супроводжуються загибеллю тисяч людей. Площа періодично затоплених паводками територій земної кулі становить приблизно 3 млн км², що відповідає сумарній площі всіх держав Західної Європи та в 5 разів перевищує площу України. У паводконебезпечних районах земної кулі зараз проживає приблизно 1 млрд осіб [1].

Проблемі паводків в Україні та за її межами присвячено велику кількість публікацій, які за їх характером можна поділити на наукові та інформаційні. Кількість публікацій інформаційного характеру у вигляді різних оповідей та повідомлень про паводкові ситуації на планеті значно перевищує кількість наукових публікацій, при цьому наукові публікації містять результати досліджень окремих аспектів проблеми паводків (генезис паводків, наслідки та збитки від паводків, районування паводконебезпечних територій тощо). Проте до цього часу науковцями ще не створено цілісної концепції протипаводкового захисту. На цей час розроблено багато заходів та засобів захисту від паводків: берегоукріплення, спорудження захисних дамб, спорудження протипаводкових водосховищ, регулювання русел річок тощо, застосування яких деякі автори намагаються подати як концепції захисту [2, 3]. Однак такі пропозиції можна розглядати тільки як окремі варіанти протипаводкового захисту. Враховуючи те, що найбільш важливою складовою науково-практичного рішення проблеми паводків є концепція захисту, постає актуальна потреба створення універсальної науково детермінованої концепції, використання якої забезпечувало б досягнення гарантованого захисного ефекту при мінімальних розмірах інвестиційних вкладень в протипаводковий захист.

Мета дослідження – виконати системний аналіз основних напрямів дослідження паводків та розробити принципові положення універсальної концепції протипаводкового захисту.

З огляду на те, що проблема паводків є глобальною та багатоаспектною, вона потребує системного підходу до її рішення. В роботі з позицій системного аналізу вирішувались такі основні задачі: обґрунтування актуальності створення універсальної концепції захисту від паводків (розділи 1–2); систематизація основних напрямів дослідження та рішення проблеми паводків (розділ 3); обґрунтування універсальної концепції протипаводкового захисту (розділ 4).

Виклад основного матеріалу досліджень

1. Паводки як історична категорія. Паводки належать до найнебезпечніших стихійних явищ на Землі. Вони супроводжують людське суспільство з найдавніших часів і до наших днів [4]. В усьому світі поширено легенди про великий потоп. Багато дослідників вважають, що велика кількість переказів про потопи ґрунтуються на дійсних фактах катастрофічних затоплень значних територій планети у давно минулі роки. За результатами досліджень істориків, археологів, біологів та етнографів було встановлено, що на межі четвертого та третього тисячоліття до нашої ери у Месопотамії відбулися грандіозні паводки, які призвели до загибелі майже всіх жителів долини Тигра і Євфрату. Затоплена паводками територія долини між горами і пустелею на той час представлялась місцевим жителям цілим світом. Тому катастрофічні паводки в Месопотамії, в яких загинула більша частина жителів долини Тигра і Євфрату, у небагатьох, що залишились живими, сприймались, як всесвітній потоп. Припускається, що один з цих паводків, про який йдеться в шумерській легенді, став підставою для розповіді про всесвітній потоп у Старому Заповіті [5].

Зараз науковцями виконано велику роботу з вивчення оповідей про великий потоп у різних країнах, з переліку яких можна судити про те, що спричинені паводками великі потопи відбувалися практично у всіх районах земної кулі. Отже, про великий потоп зараз сформовано перелік вавилонських, єврейських, давньогрецьких, давньоіндійських сказань. В цей перелік входять також сказання про великий потоп у Східній Азії, на островах Малайського архіпелагу, в Австралії, в Новій Гвінеї та Меланезії, в Полінезії та Мікронезії, у Південній Америці, у Центральній Америці та Мексиці, у Північній Америці, в Африці [6, 7].

Проблема паводків торкнулася майже кожної країни світу, але серед багатьох раніше зафіксованих на планеті паводків найбільш руйнівними були паводки в Китаї [8–10]. За наслідками ці паводки можна порівняти з найбільш кровопролитними війнами. До наших днів дійшли відомості про катастрофічні розливи р. Хуанхе в 2297 році до нашої ери. Однією з найбільших гідрологічних катастроф на Землі вважається паводок 1332 року на р. Хуанхе, внаслідок якого загинуло 7 млн чоловік [8]. Не менш великий паводок в басейні річки Хуанхе стався восени 1887 року, коли було затоплено 11 міст і 300 сіл. За офіційними даними загинуло 900 тис. чоловік, а за неофіційними – від 2 до 6 млн чоловік [8, 10].

В серпні 1931 року, в результаті сильних затяжних дощів найдовша і повноводна ріка Китаю Янцзи і сусідня з нею річка Хуанхе одночасно вийшли з берегів і затопили понад 300 тисяч гектарів родючих земель, повністю знищивши на цій площі сільське господарство. Паводок забрав 3,7 мільйони людських життів, 40 мільйонів чоловік постраждали від голоду, розрухи, хвороб [8, 9, 11].

З 12 червня по 30 серпня 1998 р. в Китаї сталося 13 паводків, які торкнулися майже всієї території країни. Від них постраждало 240 млн чоловік, тобто в 6 разів більше, ніж зараз проживає в Україні. Понад 56 млн осіб довелося тимчасово евакуювати. Загинуло тисячі людей [9, 12].

Частота паводків з роками має тенденцію до збільшення. Паводки на р. Хуанхе в період з XXI по XVI ст. до н.е. відбувалися приблизно кожні

50 років. З 206 р. до н.е. по 25 р. н.е., в період правління династії Хен, їх було відмічено 12 з інтервалом в 20 років. З 618 р. по 907 р., в період правління династії Тан, відбувся 31 паводок з інтервалом в 9 років. У період династії Кінг, з 1644 р. по 1911 р. відбулось 480 паводків з інтервалом в 0,55 року [8].

Серед інших країн світу від паводків найбільш страждає Бангладеш. Рівнинні території, затоплювані річками Ганг, Брахмапутра, Мегхна, становлять приблизно 80% усієї площі Бангладеш. Паводки в Бангладеш стали регулярним явищем. Саме тоді життя країни повністю паралізується. Людям доводиться рятуватися на пагорбах, високих насипах, дахах будинків і навіть на деревах. Тринадцять тропічних циклонів обрушилися на узбережжя цієї країни у період із 1960 по 1970 рр. З 1950 по 1988 р. на території Бангладеш сталось 25 найсильніших паводків. У 1970 р. від паводку загинуло 300 тис. людей. Увагу всього світу прикули до себе паводки 1987 та 1988 років. За офіційними оцінками в 1988 р. із загальної площі території країни, що дорівнює 144.8 тис. км², було затоплено понад половину – 82 тис. км² [13].

Оскільки історію багатьох країн світу від біблейських часів до наших днів можна без перебільшення назвати історією боротьби з паводками, паводки доцільно сприймати як історичну категорію планетарного масштабу.

2. Паводки як глобальна проблема. За кількістю жертв і розміру збитків паводки займають одне з перших місць у ряді стихійних лих і катастроф. Останніми роками з ростом населення планети, урбанізації територій, зведення лісів, розвитком господарської діяльності людини, а також в умовах змін клімату почастишали катастрофічні паводки, посилилися їх економічні, соціальні та екологічні наслідки та зросла кількість викликаних ними людських жертв [14, 15]. Ще більш швидко зростають руйнівні наслідки паводків та збитки від них. Так, у найбільш паводконебезпечному Карпатському регіоні України середньорічні збитки від паводків у 1995–1998 роках становили більше 900 млн гривень, у 1999–2007 роках – понад 1,5 млрд гривень, у 2008–2010 роках – близько 6 млрд гривень. Загальні збитки від паводку, що відбувся в 20-х числах червня 2020 року внаслідок проходження інтенсивних грозових дощів та значного підвищення водності в річках Дністер, Прут, Черемош, Бистриця, оцінили на суму 3–4 млрд грн [16].

За даними Всесвітньої метеорологічної організації (WMO) приблизно 50% стихійних лих, пов'язаних з водою (гідрологічні лиха), спричинені підвищенням рівня поверхневої та ґрунтової води (рис. 1). З загальної кількості стихійних лих, що сталися наприкінці 20-го і початку 21-го століття, понад 60% припадає на долю тих, що пов'язані з гідрометеорологічними явищами та процесами [17]. На долю паводків припадає 45% загальної кількості стихійних лих на планеті (рис. 2).

З огляду на значну долю паводків в складі інших стихійних лих на планеті (рис. 1, 2), а також враховуючи надзвичайно небезпечний характер паводків, що мали місце в різних країнах світу (табл. 1), у тому числі в Україні (табл. 2), проблему паводків слід вважати глобальною.

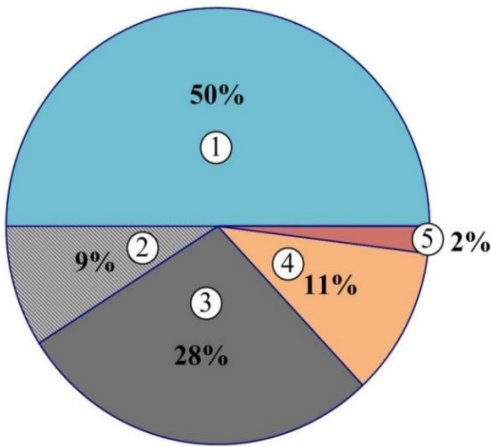


Рис. 1. Типи стихійних лих, пов'язаних з водою:

1 – висока поверхнева та ґрунтова вода (руйнівна дія води, затоплення, підтоплення); 2 – зсуви, селі; 3 – епідемії, викликані водою; 4 – посуха; 5 – голод

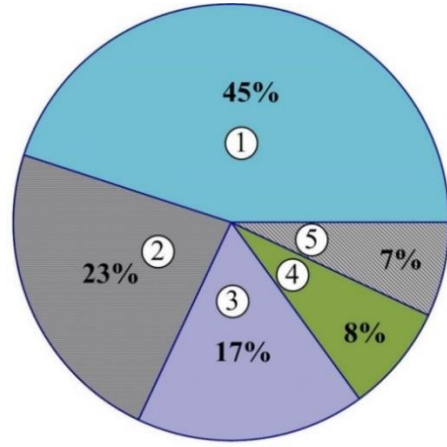


Рис. 2. Розподіл природних надзвичайних ситуацій з числом жертв понад 100 чоловік, або економічним збитком понад 1 млрд дол. США:

1 – паводки; 2 – буревії, смерчі; 3 – землетруси, вулкани, цунамі; 4 – тропічні циклони; 5 – зсуви

Таблиця 1. Найбільші паводки, що відбулись в різних країнах світу

Дата	Континент, країна, регіон та наслідки проходження паводку
Липень 1342 р.	Німеччина. Паводок на річках Рейн, Мозель, Майн, Дунай, Везер, Верра, Унструт, Ельба. Пошкоджено міста Кельн, Майнц, Франкфурт-на-Майні, Вюрцбург, Регенсбург, Пассау та Відень. В період паводку загинуло понад 6 тис. осіб, в наступні роки від спричинених паводком голоду та пандемії чуми загинуло більш третини населення Центральної Європи
5 листопада 1530 р.	Нідерланди. Повінь Святого Фелікса. Загинуло понад 100 тис. осіб
Липень 1911 р.	Китай. Р. Янцзи. Загинуло 100 тис. чол. Без житла залишилось 5 млн осіб
Серпень 1931 р.	Китай. Р. Янцзи та р. Хуанхе. Загинуло 3,7 мільйони чол. Постраждало 40 млн чол. Затоплено 300 тис. га земель
14 серпня 1955 р.	Китай, провінція Аньхой. Повінь в басейні р. Хуанхе. Загинуло 500 чол. Позбавилося даху 10 млн осіб. 5 млн акрів земель затоплено.
4 жовтня 1955 р.	Пакистан і Індія. Повінь в басейні річок Інд і Ганг. Загинуло 1700 чол. Збиток становив 63 млн дол. США від затоплення 5,6 млн акрів земель
12 листопада 1970 р.	Бангладеш. Повінь в дельті Гангу. Затоплено понад 50% території країни. Загинуло понад 300 тис. осіб. Втрачено врожаю на 63 млн дол. США
Липень-серпень 2010 р.	Пакистан. Дощовий паводок. Затоплено п'яту частину країни. Кількість постраждалих перевищила 21 млн чол. Загинуло 1600 осіб; збиток становив понад 10,0 млрд дол. США

Дата	Континент, країна, регіон та наслідки проходження паводку
Грудень 2010 р. – січень 2011 р.	Австралія. Паводок в штаті Квінсленд. В зоні затоплення опинилось 22 міста та понад 200 тис. людей. Загинуло 25 чол. Зруйновано 30 тис. будинків. Збиток становив 24 млрд дол. США
2-13 червня 2013 р.	Країни Центральної Європи. Паводок на річках Дунай, Рейн, Майн. Загинуло 24 людини. Збиток становив 15 млрд дол. США
4 жовтня 2009 р.	Індія. Повінь в штатах Карнатака та Андхра-Прадеш. Загинуло понад 300 осіб, постраждало близько 2 млн осіб. Збиток становив 1,0 млрд дол. США
16-20 червня 2010 р.	Катастрофічний паводок у Польщі. Загинуло 24 людини. Затоплено 2157 населених пунктів. Збиток становив 2,5 млрд євро
12-30 липня 2021 р.	Серія дощових паводків в країнах Європи, викликаних циклоном Бернд (Bernd). Вода у декількох річкових басейнах вийшла з берегів. Основний збиток від гідрологічного лиха, визнаного найбільшим за останні 100 років, припав на Німеччину. Загинуло та пропало безвісти понад 243 особи

Таблиця 2. Найбільші паводки на території України

Дата	Річки України, регіони та наслідки проходження паводку
8-9 липня 1911 р.	Р. Прут, р. Серет. Витрата води в р. Серет досягла 1000 м ³ /с
1-2 вересня 1941 р.	Басейн річок Дністра, Пруту і Серету. Зливові опади призвели до небувалого паводку ймовірністю 1/250 років. Максимальні рівні води в Дністрі на 1-3 м перевищили найвищі рівні води у попередні роки
4-8 листопада 1998 р.	Річки Закарпаття. Затоплено 119 населених пунктів, зруйновано 3248 будинків та 22 мости, пошкоджено близько 100 тис. га сільгоспугідь. Виникло 600 зсувів та 98 селевих потоків. Збиток становив 810 млн грн
Липень 1999 р.	С. Долішній Шепіт на р. Серет. Зруйновано 8 мостів, гребля та 10 км автодороги. Загинуло 4 чол. Збиток становив понад 1,3 млн грн
3-5 березня 2001 р.	Річки Закарпаття. Загинуло 9 осіб. Затоплено 251 поселення
28-29 липня 2001 р.	Басейн Дністра. Затоплено 33 поселення, зруйновано 17 мостів. Загинуло 2 людей. Збиток становив понад 20 млн грн
23-27 липня 2008 р.	Річки Прикарпаття. Затоплено 615 населених пунктів та більше 34 тис. га сільгоспугідь. Загинуло 42 чол. Збиток становив 3–4 млрд грн
15-20 травня 2010 р.	Дощовий паводок на річках Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської, Чернівецької та Тернопільської областей. Затоплено близько 4 тис. га сільгоспугідь. Збитки від стихії у регіоні склали понад 75,5 млн грн
23-27 червня 2020 р.	Паводок на річках Дністер, Прут, Черемош, Бистриця. Пік паводку визнано найбільшим за останні 60 років. Збиток становив 3–4 млрд грн

Глобальний характер проблеми паводків підтверджується такими її ознаками: стосується усього людства; зачіпає інтереси і долю багатьох країн; призводить до значних соціальних, екологічних та економічних збитків, які у разі їх збільшення будуть загрожувати існуванню людської цивілізації.

Характерною ознакою проблеми паводків є те, що вона входить до складу багатьох інших проблем, які на міжнародному рівні визнані як глобальні, а саме таких проблем, як екологічна, продовольча, соціальна (загроза життю та здоров'ю населення), економічна (втрати та збитки в різних сферах життєдіяльності людства на планеті), деградація земель.

3. Систематизація основних напрямів дослідження та рішення проблеми паводків. За результатами аналізу літературних джерел, а також відповідних директивних і законодавчих документів, було визначено такі основні напрями дослідження та рішення проблеми паводків.

Аналіз та корегування визначень термінів «паводок» і «повінь». Загальновідомо, що успішне рішення будь-якої проблеми потребує детермінації її основних елементів та понять. Для поліпшення результативності системних досліджень гідрологічних явищ, пов'язаних з підйомом води у водотоках, в роботі [18] наведено результати корегування визначень термінів «паводок» і «повінь». Термін «паводок» під час проведення досліджень запропоновано використовувати як універсальний. Під паводком слід розуміти стихійний динамічний процес формування водного режиму водотоку, що відбувається в три стадії. При цьому однією такою стадією, а саме кульмінаційною стадією цього процесу, є повінь. Під повінню розуміється стадія паводку, що відбувається в момент досягнення максимальних рівнів води у водотоці та прилеглих територіях. Тому під час проведення досліджень можна окремо використовувати як термін «паводок», так і термін «повінь». Проте не припускається використовувати словосполучення «паводки і повені», оскільки нелогічно ставити на один рівень ціле і частину цього цілого, у даному випадку «процеси і стадії цих процесів».

Збір та аналіз статистичних даних проходження паводків в країнах світу та Україні. За цим напрямом опубліковано найбільшу кількість робіт, зокрема [2–14].

Класифікація паводків за їх генезисом [3, 15, 19, 20].

Районування територій за ступенем паводкової небезпеки [20–22].

Розробка концепції захисту від паводків [2, 3, 10, 23].

Розробка методів короткострокового прогнозування паводків [24].

Розробка науково-методичних засад розрахунку втрат і збитків від паводків та визначення ефективності здійснення протипаводкових заходів [25–27].

Підготовка та прийняття директиви Європейського Союзу та постанов уряду України про оцінку та управління паводковими ризиками [28–32].

Очевидно, що серед вищезазначених напрямів дослідження та рішення проблеми паводків тільки один напрям є основним та радикальним, щодо рішення проблеми паводків. Це напрям розробки концепції захисту від паводків. Серед інших напрямів деякі мають суто інформативно-пізнавальний характер, а деякі можуть бути використані як допоміжні під час рішення проблеми паводків.

4. Обґрунтування універсальної концепції захисту від паводків.

Враховуючи як актуальну необхідність рішення глобальної проблеми паводків, так і високу вартість заходів протипаводкового захисту, в основу універсальної концепції захисту від паводків закладається показник ефективності захисту у вигляді співвідношення показника позитивного ефекту здійснення заходів протипаводкового захисту і показника негативного ефекту, основну частину якого складають витрати, необхідні для здійснення заходів протипаводкового захисту.

Позитивний ефект здійснення i -го варіанта захисних заходів в зоні s паводкових ризиків, або зоні потенційного затоплення, оцінюють величиною загального відвернутого збитку BZ_s^i (збитку, відвернутого протипаводковими заходами). Загальний відвернутий збиток BZ_s^i складається з відвернутого соціального збитку $(BZ_s^{cy})^i$, відвернутого екологічного збитку $(BZ_s^{екл})^i$ та відвернутого економічного збитку $(BZ_s^{екн})^i$:

$$BZ_s^i = (BZ_s^{cy})^i + (BZ_s^{екл})^i + (BZ_s^{екн})^i. \quad (1)$$

Величина позитивного протипаводкового ефекту (відвернутого збитку BZ_s^i) і абсолютна величина негативного ефекту (наслідку) проходження паводку (збитку Z_s) знаходяться у співвідношенні:

$$BZ_s^i \leq |Z_s|. \quad (2)$$

З урахуванням співвідношення (2) показник ефективності i -го варіанта захисту від паводків зони паводкових ризиків s визначають за формулою:

$$R_s^i = \frac{BZ_s^i}{b_s^i + (Z_s - BZ_s^i)}, \quad (3)$$

де b_s^i – витрати на досягнення позитивного ефекту BZ_s^i , тис. грн/рік; $(Z_s - BZ_s^i)$ – частина збитку Z_s , яка залишилась не відвернутою протипаводковими заходами, тис. грн/рік.

За цільовий показник протипаводкового захисту R_s^{max} приймається показник найвищої ефективності вкладення інвестицій в здійснення захисних заходів. Показник R_s^{max} відповідає показнику ефективності R_s^i i -го варіанта протипаводкового захисту зони s , який знаходять серед множини u потенційно можливих варіантів захисту відповідно до цільової функції (4):

$$R_s^{max} \leftrightarrow R_s^i = \frac{BZ_s^i}{b_s^i + (Z_s - BZ_s^i)} \rightarrow \max, \quad i = 1, \dots, u. \quad (4)$$

Універсальна концепція захисту від паводків розроблюється з урахуванням таких вихідних умов:

- концепція призначена для розробки та обґрунтування заходів та засобів захисту від паводків різної забезпеченості в зонах потенційного затоплення, в яких можуть знаходитись люди, а також різні природні та штучні об'єкти, пов'язані з різними сферами життєдіяльності людей;

- враховується та підлягає аналізу не один концептуальний напрямок протипаводкового захисту, а кілька можливих альтернативних напрямків, залежно від комплексу факторів негативного впливу паводків на соціальний, екологічний та економічний стан територій зон паводкових ризиків;

- враховується та підлягає аналізу повна множина протипаводкових заходів, їх функціональних і технологічних альтернатив;

- враховується та підлягає аналізу повна множина конструктивних варіантів протипаводкових споруд, а також множина можливих технологій і засобів механізації будівництва цих споруд;

- для визначення комплексу оптимальних або найбільш прийнятних заходів та засобів захисту від паводків застосовуються науково-обґрунтовані методи, методики та рекомендації.

Відповідно до вихідних умов розробки універсальної концепції захисту від паводків, встановлено два альтернативних концептуальних напрямки протипаводкового захисту:

- напрямок ситуаційного протипаводкового захисту;

- напрямок превентивного протипаводкового захисту.

Характерні особливості захисних заходів за цими напрямками, а також перелік та порядок виконання захисних заходів наведено в роботі [23].

Обґрунтування альтернативних концептуальних напрямків та вибору варіантів заходів захисту від паводків в s -й зоні потенційного затоплення S -го басейну паводконебезпечної річки здійснюють поетапно відповідно до схеми на рис. 3.

Стадія довгострокового прогнозування.

Етап 1. Прогнозування паводкової небезпеки в зоні s за гідрологічними показниками. Методичні засади прогнозування наведено в роботі [22]. Кінцевим результатом прогнозування є гіперболічна залежність витрати води в розрахунковому створі річки Q_p від забезпеченості паводку p :

$$Q_p = \frac{k_1}{p} + k_2, \quad (5)$$

де k_1 і k_2 – коефіцієнти, що знаходять шляхом обробки за методом найменших квадратів статистичних даних проходження паводків за минулий період.

Етап 2. Прогнозування середньорічної витрати води в розрахунковому створі річки в зоні паводкових ризиків s . Методичні засади прогнозування наведено в роботі [22]. Кінцевим результатом прогнозування є функціональна залежність:

$$Q_p^{cp} = \frac{k_1 \ln(100 - p_0)}{100 - p_0} + k_2, \quad (6)$$

де Q_p^{cp} – середньорічна пікова витрата води в розрахунковому створі річки, м³/с; p_0 – мінімальна для s -ї зони паводкових ризиків розрахункова величина забезпеченості паводку, яку встановлюють згідно зі статистикою проходження паводків за минулі роки, % (зазвичай приймають $p_0 \cong 1\%$).

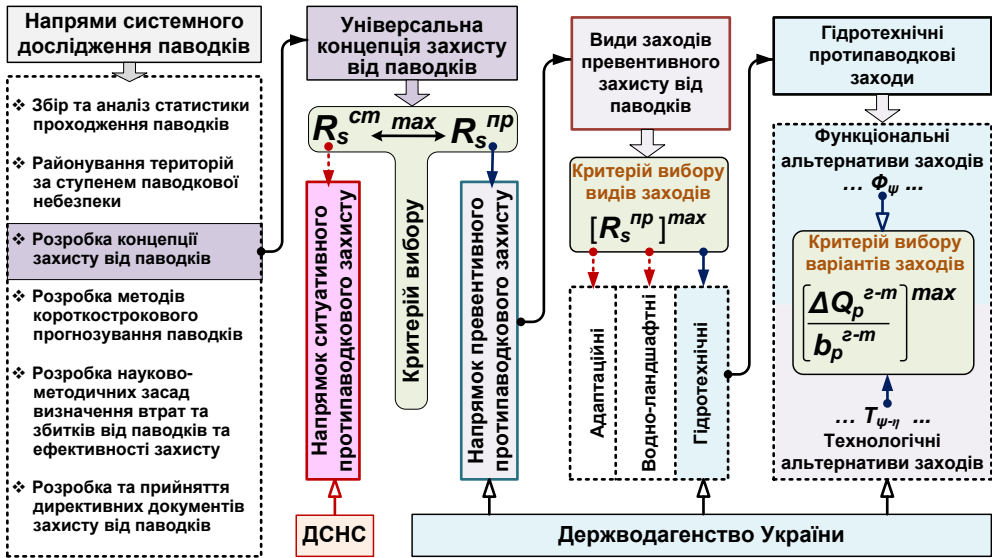


Рис. 3. Головна структурно-функціональна схема вибору за універсальною концепцією варіантів захисту від паводків s -ї зони паводкових ризиків в басейні паводконебезпечної річки

Етап 3. Прогнозування паводкової небезпеки в зоні s за розміром збитків. Методичні засади прогнозування наведено в роботі [33]. Кінцевим результатом прогнозування є гіперболічна залежність (7) загального збитку Z_s від паводку забезпеченості p в зоні паводкових ризиків s :

$$Z_s = \frac{k_3}{p} + k_4, \quad (7)$$

де k_3 і k_4 – коефіцієнти, що знаходять шляхом обробки за методом найменших квадратів статистичних даних збитків від проходження паводків за минулий період, а також даних прогнозу вартості майбутньої забудови території зони s та перспективи її подальшого економічного розвитку.

Етап 4. Прогнозування середньорічного збитку від паводків в зоні паводкових ризиків s . Методичні засади прогнозування наведено в роботі [32]. Кінцевим результатом прогнозування є залежність:

$$Z_s^{cp} = \frac{k_3 \ln(100 - p_0)}{100 - p_0} + k_4, \quad (8)$$

де Z_s^{cp} – середньорічний збиток від паводку в s -й зоні паводкових ризиків, тис. грн/рік.

Етап 5. Визначення розміру середньорічного відвернутого збитку BZ_s^{cp} в зоні паводкових ризиків s . У разі повного захисту від паводків зони s , що характерно для багатьох гідротехнічних заходів, розмір середньорічного відвернутого збитку BZ_s^{cp} дорівнює абсолютній величині середньорічного збитку Z_s^{cp} , який розраховують за формулою (8). В інших випадках величину BZ_s^{cp} розраховують за індивідуальними методиками.

Стадія обґрунтування заходів за концептуальним напрямком ситуаційного захисту від паводків.

Етап 6. Визначення середньорічних витрат $[b_s^{cm}]^{cp}$ на здійснення ситуаційних протипаводкових заходів. Середньорічні витрати $[b_s^{cm}]^{cp}$ розраховують для паводку, що має визначену за формулою (3) середньорічну витрату води Q_p^{cp} в розрахунковому створі річки в зоні паводкових ризиків s . Середньорічні витрати $[b_s^{cm}]^{cp}$ на здійснення ситуаційних протипаводкових заходів складаються з середньорічних витрат на короткострокове прогнозування паводків $[b_s^{kn}]^{cp}$, які розраховують за методами, наведеними в роботах [15, 24]; середньорічних витрат на здійснення попереджувальних заходів $[b_s^{mn}]^{cp}$; середньорічних витрат на здійснення аварійно-рятувальних заходів $[b_s^{a-p}]^{cp}$; середньорічних витрат на здійснення аварійно-відновлюваних заходів $[b_s^{a-e}]^{cp}$ [23]. Таким чином, середньорічні витрати $[b_s^c]^{cp}$ на здійснення ситуаційних заходів визначають за формулою:

$$[b_s^{cm}]^{cp} = [b_s^{kn}]^{cp} + [b_s^{mn}]^{cp} + [b_s^{a-p}]^{cp} + [b_s^{a-e}]^{cp}. \quad (9)$$

Етап 7. Визначення показника ефективності R_s^{cm} заходів, що здійснюють за концептуальним напрямком ситуаційного протипаводкового захисту. Показник R_s^{cm} розраховують за формулою:

$$R_s^{cm} = \frac{[BZ_s^{cm}]^{cp}}{[b_s^{cm}]^{cp} + (Z_s^{cp} - [BZ_s^{cm}]^{cp})}, \quad (10)$$

де $[BZ_s^{cm}]^{cp}$ – середньорічні відвернуті збитки при застосуванні в зоні s ситуаційних протипаводкових заходів, тис. грн/рік.

Стадія обґрунтування заходів за концептуальним напрямком превентивного захисту від паводків.

Етап 8. Визначення показників ефективності адаптаційних протипаводкових заходів. До варіантів адаптаційних протипаводкових заходів відносять: винос господарських і житлових будівель за межі зони затоплення; будівництво будинків та деяких господарських споруд на палях; пристосування промислового виробництва до умов періодичного затоплення, з метою мінімізації збитків від порушень виробничих циклів; трансформація сільськогосподарських угідь, під якою розуміється вирощування на полях в зоні паводкових ризиків культур, що витримують тимчасове затоплення. Для кожного θ -го варіанта адаптаційних протипаводкових заходів визначають показник ефективності $[R_s^a]_\theta$ за формулою:

$$[R_s^a]_\theta = \frac{[BZ_s^a]_\theta^{cp}}{[b_s^a]_\theta^{cp} + (Z_s^{cp} - [BZ_s^a]_\theta^{cp})}, \quad (11)$$

де $[BZ_s^a]_\theta^{cp}$ та $[b_s^a]_\theta^{cp}$ – середньорічний ефект від здійснення θ -го варіанта адаптаційних протипаводкових заходів та витрати для досягнення цього ефекту, тис. грн/рік.

З множини варіантів адаптаційних протипаводкових заходів обирають варіант з найбільшим показником ефективності: $[R_s^a]_\theta \leftrightarrow [R_s^a]^{max}$.

Етап 9. Визначення показників ефективності водно-ландшафтних протипаводкових заходів. До варіантів водно-ландшафтних протипаводкових заходів відносять заходи, спрямовані на зміну умов формування паводкового стоку на площах водозбору. Це заходи: створення на шляху формування паводкових потоків лісосмуг та лісових масивів; створення ставків-накопичувачів; заболочування територій тощо. Для кожного j -го варіанта водно-ландшафтних протипаводкових заходів визначають показник ефективності $[R_s^{6-l}]_j$ за формулою:

$$[R_s^{6-l}]_j = \frac{[BZ_s^{6-l}]_j^{cp}}{[b_s^{6-l}]_j^{cp} + (Z_s^{cp} - [BZ_s^{6-l}]_j^{cp})}, \quad (12)$$

де $[BZ_s^{6-l}]_j^{cp}$ та $[b_s^{6-l}]_j^{cp}$ – середньорічний ефект від здійснення j -го варіанта водно-ландшафтних протипаводкових заходів та витрати для досягнення цього ефекту, тис. грн/рік.

З множини варіантів водно-ландшафтних протипаводкових заходів обирають варіант з найбільшим показником ефективності: $[R_s^{6-l}]_j \leftrightarrow [R_s^{6-l}]^{max}$.

Етап 10. Визначення показників ефективності гідротехнічних протипаводкових заходів. До гідротехнічних превентивних протипаводкових заходів відносять: заходи зі збільшення пропускної здатності річок для прискорення відведення води з зони паводкових ризиків; заходи акумулювання частини паводкового потоку перед зоною паводкових ризиків в руслах або долинах річок для зменшення надходження паводкових вод до зони паводкових ризиків; заходи будівництва гідротехнічних систем комплексного протипаводкового захисту. Системну схему та принципи формування варіантів гідротехнічних протипаводкових заходів за їх функціональними та технологічними альтернативами наведено в роботі [23]. Для кожного варіанта гідротехнічних протипаводкових заходів визначають показник ефективності $[R_s^{z-m}]_{\psi-\tau}$ за формулою:

$$[R_s^{z-m}]_{\psi-\tau} = \frac{[BZ_s^{z-m}]_{\psi-\tau}^{cp}}{[b_s^{z-m}]_{\psi-\tau}^{cp} + (Z_s^{cp} - [BZ_s^{z-m}]_{\psi-\tau}^{cp})}, \quad (13)$$

де $[BZ_s^{z-m}]_{\psi-\tau}^{cp}$ та $[b_s^{z-m}]_{\psi-\tau}^{cp}$ – середньорічний ефект від здійснення $(\psi-\tau)$ -го варіанта гідротехнічних протипаводкових заходів та витрати для досягнення цього ефекту, тис. грн/рік; ψ – індекс функціональної альтернативи заходів; τ – індекс технологічної альтернативи заходів.

З множини варіантів гідротехнічних протипаводкових заходів обирають варіант з найбільшим показником ефективності: $[R_s^{z-m}]_{\psi-\tau} \leftrightarrow [R_s^{z-m}]^{max}$.

Етап 11. Вибір найбільш ефективного виду заходів за концептуальним напрямком превентивного протипаводкового захисту зони s паводкових ризиків. Серед трьох видів превентивного протипаводкового захисту обирають вид, якому відповідає найбільший показник ефективності $[R_s^{np}]^{max}$ з множини розрахованих за формулами (11–13) показників ($[R_s^a]^{max}$, $[R_s^{6-l}]^{max}$, $[R_s^{z-m}]^{max}$).

Етап 12. Вибір найбільш ефективного концептуального напрямку протипаводкового захисту зони s паводкових ризиків. Для зони s паводкових ризиків обирають ситуаційний чи превентивний концептуальний напрямок захисту за критерієм найбільшого з двох відповідних цим напрямкам показників ефективності: R_s^{cm} ; $[R_s^{np}]^{max}$.

Висновки

1. Паводки супроводжують людство з найдавніших часів і до наших днів, що дозволяє їх сприймати як історичну категорію.

2. Паводки відбуваються в басейнах усіх річок земної кулі, а за кількістю людських жертв та заподіяних збитків займають перше місце, що дає підставу вважати проблему паводків глобальною.

3. За результатами системного аналізу основних напрямів дослідження та рішення проблеми паводків за попередні роки встановлено, що найважливішим напрямом науково-практичного рішення проблеми паводків є фундаментальне вдосконалення концептуальних засад захисту від паводків.

4. Запропоновано авторський варіант універсальної концепції захисту від паводків, в основу якої покладено цільовий показник протипаводкового захисту, за яким забезпечується максимальна ефективність захисту територій в зонах паводкового ризику.

5. За універсальною концепцією передбачено два принципово відмінні концептуальні напрямки протипаводкового захисту: ситуативний і превентивний.

6. За напрямком превентивного протипаводкового захисту передбачено три види захисних заходів (адаптаційні, водно-ландшафтні, гідротехнічні), серед яких найбільш поширеними та ефективними для захисту територій в басейнах паводконебезпечних річок є гідротехнічні заходи.

7. Використання універсальної концепції захисту від паводків забезпечує досягнення надійного захисного протипаводкового ефекту при раціональному використанні інвестиційних вкладень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабаджанова О.Ф., Гринчишин Н.М., Сукач С.Г. (2013). Небезпека розвитку і поширення повеней // Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.8. С. 90-95.
2. Авакян А.Б. (2000). Наводнения. Концепция защиты // Известия РАН, серия географическая. 2000, № 5, С. 40–46.
3. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. (2012). Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання. Київ : Аграрна наука. 2012. 304 с.
4. Milne A. (1986). Floodshock: the drowning of planet Earth. Sutton.1986. 176 p.
5. James G. Fraser. (1975). Folk-lore in the Old Testament. London: Hart Publishing Company, Inc. 1975. 482 p.
6. Королев І.Е., Бабаянц О.М. (2018). Мифы о всемирном потопе у разных народов // Юный ученый. 2018, № 2 (16), С. 53-56.
7. Димитров П., Димитров Д. (2003) Черно море. Потопись и древните митове. Варна : Издателство «Славена». 2003. 91 с.
8. Муранов А.П. (1957). Река Хуанхэ (Желтая река). Л. : Гидрометеиздат.1957. 88 с.
9. Муранов А.П. (1959). Река Янцзы. Л. : Гидрометеиздат. 1959. 124 с.
10. Flood damage prevention and control in China. Report of a study Four and Workshop in the Peoples Republic of China // Nature. Resource. Water ser. 1983, № 11, 121 p.
11. Гамберг В. (1931). Наводнение в Китае (июль-октябрь 1931). // Проблемы Китая. 1931, № 89 (3-4), С. 153-158.
12. Zong Yongqiang, Chen Xiqing. (2000). The 1998 flood on the Yangtze, China // Natural Hazards. 2000, №22, P. 165–184.

13. Brammer H. (1990). Floods in Bangladesh, I - Geographical Background to the 1987 and 1988 Floods // *Geographical Journal. GEOAREA : Southeast Asia, Bangladesh*. 1990. Vol. 156.
14. Gentry A. H., Lopes Parody, J. (1980). Deforestation and increased flooding of the Upper Amazon. *Science*. 1980. V. 210, № 4476, P. 1354-1356.
15. Бабаджанова О.Ф., Павлюк Ю.Е., Сукач Ю.Г. (2013). Сучасні системи попередження та прогнозування повеней // *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2013, № 7, С. 167-171.
16. Інженерно-геологічний моніторинг Міжрегіонального офісу захисних масивів дніпровських водосховищ. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.mozmdv.gov.ua/ravodok-ta-osnovni-momenti-jogo-negativnogo-vplivu/>. (дата звернення 17.11.2021 р.).
17. Manual on flood forecasting and warning Source(s): World Meteorological Organization (WMO), WMO-No.1072, Geneva, 2011 edition.
18. Петроченко О.В., Петроченко В.І. (2021). Аналіз термінологічних визначень стихійних явищ, пов'язаних з підвищенням рівня води у водотоках та затопленням територій // *Екологічна безпека та природокористування*. 2021, №4 (40), С. 140-148. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.139-148>
19. Дячук В.А., Сусідко М.М. (1999). Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення // *Укр. географ. журн.* 1999, №1, С. 47–50.
20. Мороз О., Тартачинська З., Лубенець Л. (2009). Основні причини виникнення руйнівних повеней і паводків у Прикарпатті та геодезичний моніторинг як метод запобігання їм // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка»*. 2009, Випуск 2 (18), 128 с.
21. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. (2004). Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки // *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2004, Вип. 253, С. 196–202.
22. Петроченко О.В., Петроченко В.І. (2020). Науково-методичне забезпечення розробки планів управління ризиками затоплення в річкових басейнах // *Екологічні науки*. 2020, №6, С. 35-44.
23. Петроченко В.І., Петроченко О.В. (2022). Систематизація паводків та протипаводкових заходів // *Меліорація і водне господарство*. 2022, №1, С. 50-59.
24. Заміховський Л.М., Клапоушак О.І. (2011). Аналіз методів і систем контролю та прогнозування рівня паводкових вод // *Нафтогазова енергетика*. 2011, №2(15), С. 99–105.
25. Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175.
26. Скиданенко Ю.П. (2007). Аналіз методологічних підходів до визначення збитків від природних катастроф // *Вісник СумДУ. Серія Економіка*. 2007, №1, С. 52–59.
27. Петроченко В.І., Шашук В.А. (2009). Еколого-економічна ефективність протипаводкових заходів. К. : ДУЕВР. 2009. 62 с.
28. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 року «Про оцінку і управління ризиками затоплення».
29. 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».
30. Наказ МВС України від 17.01.2018 р. №30 «Про затвердження Методики попередньої оцінки ризиків затоплення».
31. Наказ МВС України від 28.02.2018 р. №153 «Про затвердження Методики розроблення карт загроз і ризиків затоплення».
32. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 квітня 2018 р. № 247 «Про затвердження Порядку розроблення плану управління ризиками затоплення».

33. Петроченко О.В. (2020). Оцінка і прогнозування паводкових ризиків в річкових басейнах // Екологічна безпека та природокористування. 2020, №1 (33), С. 18-41. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.18-41>

Стаття надійшла до редакції 15.03.2023 і прийнята до друку після рецензування 15.06.2023

REFERENCES

1. Babadzhanova, O.F., Grinchishin, N.M., & Sukach, S.G. (2013). Nebezpeka rozvytku i poshyrennya povney [The danger of the development and spread of floods]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny*, 23.8, 90-95 [in Ukrainian].
2. Avakyan, A.B. (2000). Navodneniya. Kontsepsiya zashchity. [The concept of protection]. *Izvestiya RAN, seriya geograficheskaya*, 5, 40-46 [in Russian].
3. Romashchenko, M.I., & Savchuk, D.P. (2012). Vodni stykhiyi. Karpats'ki poveni. Statystyka, prychyny, rehulyuvannya. [Water elements. Carpathian floods. Statistics, causes, regulation]. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian].
4. Milne, A. (1986). Floodshoock: the drowning of planet Earth. Sutton.
5. James G. Fraser. (1975). Folk-lore in the Old Testament. London: Hart Publishing Company, Inc.
6. Korolev, I.Ye., & Babayants, O.M. (2018). Mify o vseмирnom potope u raznykh narodov [Myths about the global flood among different peoples]. *Yunyy uchenyy*, 2 (16), 53-56 [in Russian].
7. Dimitrov, P., & Dimitrov, D. (2003). Cherno more. Potopūt i drevnite mitove [Black Sea. The Flood and Ancient Myths]. Varna: Izdatelstvo «Slavena».
8. Muranov, A.P. (1957). Reka Khuankhe (Zheltaya reka) [Yellow River (Yellow River)]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
9. Muranov, A.P. (1959). Reka Yantszy [Yangtze river]. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
10. Flood damage prevention and control in China. Report of a study Four and Workshop in the Peoples Republic of China. (1983). *Nature. Resource. Water ser.*, 11, 121.
11. Gamberg, V. (1931). Navodneniye v Kitaye (iyul'-oktyabr' 1931) [Flood in China (July-October 1931)]. *Problems of China*, 89 (3-4), 153-158 [in Russian].
12. Zong Yongqiang, & Chen Xiqing. (2000). The 1998 flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*, 22, 165-184.
13. Brammer, H. (1990). Floods in Bangladesh, I - Geographical Background to the 1987 and 1988 Floods. *Geographical Journal*, Vol. 156.
14. Gentry, A.H., & Lopes Parody J. (1980). Deforestation and increased flooding of the Upper Amazon. *Science*, 210 (4476), 1354-1356.
15. Babadzhanova, O.F., Pavlyuk, YU.E., & Sukach, YU.H. (2013). Suchasni systemy poperedzhennya ta prohnozuvannya povney [Modern flood prevention and forecasting systems]. *Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti*, 7, 167-171 [in Ukrainian].
16. Inzhenerno-heolohichnyy monitorynh Mizhrehional'noho ofisu zakhysnykh masyviv dniprovs'kykh vodoshkovyshch [Engineering-geological monitoring of the Interregional office of protective massifs of the Dnieper reservoirs]. Retrieved November 17, 2021, from <https://www.mozmdv.gov.ua/pavodok-ta-osnovni-momenti-jogo-negativnogo-vplivu/>.
17. Manual on flood forecasting and warning Source(s): World Meteorological Organization (WMO), WMO-No.1072, Geneva, 2011 edition.
18. Petrochenko, O.V., & Petrochenko, V.I. (2021). Analiz terminolohichnykh vyznachen' stykhiynykh yavlyshch, pov'yazanykh z pidvyshchennyam rivnya vody u vodotokakh ta zatoplennyam terytoriy [Analysis of terminological definitions of natural phenomena associated with the rise of the water level in watercourses and flooding of territories].

- Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya, 4 (40), 140-148 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.4.139-148>
19. Diachuk, V.A., & Susidko, M.M. (1999). Pavodky v Zakarpatti ta prychny yikh vynykennia [Floods in Transcarpathia and their causes]. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 47-50 [in Ukrainian].
20. Moroz, O., Tartachyns'ka, Z., & Lubenets', L. (2009). Osnovni prychny vynykennya ruynivnykh povney i pavodkiv u Prykarpatti ta heodezychnyy monitorynh yak metod zapobihannya yim [The main causes of destructive floods and floods in the Carpathian region and geodetic monitoring as a method of their prevention]. *Suchasni dosyahnennya heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva: zbirnyk naukovykh prats' Zakhidnoho heodezychnoho tovarystva UTHK: Vydavnytstvo Natsional'noho universytetu «L'vivs'ka politehnika»*, 2(18), 128 [in Ukrainian].
21. Susidko, M.M., & Lukianets, O.I. (2004) Raionuvannia terytorii Ukrainy za stupenem hidrolohichnoi nebezpeky [Zoning of the territory of Ukraine by the degree of hydrological danger]. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, 253, 196-202 [in Ukrainian].
22. Petrochenko, O.V., & Petrochenko, V.I. (2020). Naukovo-metodychne zabezpechennya rozrobky planiv upravlinnya ryzykamy zatoplennya v richkovykh baseynakh [Scientific and methodological support for the development of flood risk management plans in river basins]. *Ekolohichni nauky*, 6, 35-44 [in Ukrainian].
23. Petrochenko, V.I., & Petrochenko, O.V. (2022). Systematyzatsiya pavodkiv ta protypavodkovykh zakhodiv [Systematization of floods and anti-flood measures]. *Melioratsiya i vodne hospodarstvo*, 1, 50-59 [in Ukrainian].
24. Zamikhovs'kyi, L.M., & Klapoushchak O.I. (2011). Analiz metodiv i system kontrolyu ta prohnozuvannya rivnya pavodkovykh vod [Analysis of flood water level control and forecasting methods and systems]. *Naftohazova enerhetyka*, 2(15), 99–105 [in Ukrainian].
25. Metodyka otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho i pryrodnoho kharakteru [Methods of estimation of losses from consequences of emergencies of anthropogenic and natural character]. Zatverdzhena postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 liutoho 2002 r. № 175 [in Ukrainian].
26. Skydanenko, Yu.P. (2007). Analiz metodolohichnykh pidkhodiv do vyznachennya zbytkiv vid pryrodnykh katastrof. [Analysis of methodological approaches to determining losses from natural disasters]. *Visnyk SumDU. Seriya Ekonomika*, 1, 52–59 [in Ukrainian].
27. Petrochenko, V.I., & Stashuk, V.A. (2009) Ekoloho-ekonomichna efektyvnist protypavodkovykh zakhodiv [Ecological and economic efficiency of flood control measures]. Kyiv: DIUEVR [in Ukrainian].
28. Dyrektyva 2007/60/ES Yevropeys'koho Parlamentu i Rady vid 23 zhovtnya 2007 roku «Pro otsinku i upravlinnya ryzykamy zatoplennya» [Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 «On the assessment and management of flood risks»].
29. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 25 zhovtnya 2017 r. № 1106 «Pro vykonannya Uhody pro asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 25, 2017 № 1106 «On the implementation of the Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand»].
30. Nakaz MVS Ukrayiny vid 17.01.2018 r. №30 «Pro zatverdzhennya Metodyky poperedn'oyi otsinky ryzykiv zatoplennya» [Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated January 17, 2018 №30 «On approval of the Methodology for preliminary assessment of flood risks»]. Kyiv.
31. Nakaz MVS Ukrayiny vid 28.02.2018 r. №153 «Pro zatverdzhennya Metodyky rozroblennya kart zahroz i ryzykiv zatoplennya» [Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated February 28, 2018 №153 «On approval of the Methodology for developing maps of flood threats and risks»]. Kyiv.

32. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 4 kvitnya 2018 r. № 247 «Pro zatverdzhennya Poryadku rozroblennya planu upravlinnya ryzykamy zatoplennya». [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of April 4, 2018 № 247 «On approval of the Procedure for developing a flood risk management plan»]. Kyiv.
33. Petrochenko, O.V. (2020) Otsinka i prohnozuvannya pavodkovykh ryzykiv v richkovykh baseynakh [Assessment and forecasting of flood risks in river basins]. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 1(33), 18-41 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2020.1.18-41>

The article was received 15.03.2023 and was accepted after revision 15.06.2023

Петроченко Олексій Вячеславович

кандидат технічних наук, директор Інституту інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, вул. Освіти, 31

ORCID ID: 0000-0003-2184-4811 **e-mail:** a_petr89@ukr.net