

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg202201-317>

Available at (PDF): <https://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/317>

УДК 627.51: 001.8

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПАВОДКІВ ТА ПРОТИПАВОДКОВИХ ЗАХОДІВ

В.І. Петроченко¹, канд. техн. наук, О.В. Петроченко², канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна,
<https://orcid.org/0000-0001-8306-2554>, e-mail: v_petr47@ukr.net;

² Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури МОН України,
Київ, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-2184-4811>, e-mail: a_petr89@ukr.net

***Анотація.** Розглянуто проблему паводків та концептуальні питання протипаводкового захисту на засадах системного аналізу. Зазначено, що паводки належать до найбільш небезпечних явищ природи, які відомі ще з найдавніших часів. Відзначивши глобальний та багатоаспектний характер проблеми паводків, визначена потреба застосування системного підходу до її вирішення. Виділено основні напрямки, за якими у попередні роки системно досліджувалась та вирішувалась проблема паводків. Встановлено, що найбільш актуальним є напрямком розробки концепції захисту від паводків. Для зручності проведення системних досліджень паводків та розробки концепції захисту виконано уточнення термінологічних понять – паводка і повені. Обґрунтовано можливість та доцільність використання в системних дослідженнях терміну «паводок» як універсального. Виконано системне структурування протипаводкових заходів, в основу якого покладено ділення заходів за двома типами захисту – ситуаційний і превентивний. Загальну концепцію захисту від паводків запропоновано розглядати такою, що складається з двох альтернативних концепцій: концепції ситуаційного протипаводкового захисту і концепції превентивного протипаводкового захисту. Обирати альтернативні концепції запропоновано із застосуванням методу функціонально-вартісного аналізу. За концепцією ситуаційного протипаводкового захисту передбачено короткострокове прогнозування паводка і здійснення ситуаційних протипаводкових заходів під час наближення, проходження та закінчення останнього. За концепцією превентивного протипаводкового захисту передбачено довгострокове прогнозування паводків та здійснення одного з видів превентивних протипаводкових заходів, серед яких найбільш поширеними та перспективними визначено гідротехнічні заходи. Виконана систематизація гідротехнічних протипаводкових заходів, в основу якої покладено виділення в структурі заходів двох протилежних за характером виконання функціональних альтернатив. За першою функціональною альтернативою здійснюють прискорення відведення руслом річки паводкових вод із зони паводкових ризиків. За другою функціональною альтернативою здійснюють гальмування та затримку частини паводкового потоку перед зоною паводкових ризиків. Розроблена системна схема гідротехнічних протипаводкових заходів, на якій відповідно до функціональних альтернатив наведено множини технологічних альтернатив гідротехнічних заходів.*

***Ключові слова:** паводок, системний аналіз, концепція захисту, зона паводкових ризиків, протипаводкові заходи.*

Актуальність дослідження. В умовах кліматичних змін та зростання населення планети особливо гостро визначились дві протилежні за характером впливу на життєдіяльність людей проблеми: дефіцит води у посушливих регіонах та періодично виникаючий надлишок води у вигляді паводків [1]. Паводки належать до найнебезпечніших явищ природи, які супроводжують людство ще з найдавніших часів. Збереглися відомості про катастрофічні паводки на річці Хуанхе в 2297 до н. е., а також на Нілі приблизно 3 тис. років тому [2].

Серед багатьох раніше зафіксованих на планеті паводків найбільш руйнівні відбувались у Китаї [3], наслідки від яких можна порівняти з наслідками найбільш кровопролитних війн. Так у серпні 1931 р. 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 мільйонів людських життів, 40 мільйонів постраждали від голоду, розрухи, хвороб [4]. З 12 червня по 30 серпня 1998 року в Китаї сталося 13 паводків, які торкнулися майже всієї території країни. Від них пострадало 240 млн осіб.

Якщо раніше паводки були надзвичайно рідкісними, то за останні століття, і особливо в наш час, їх повторюваність та розміри завданих збитків стрімко зростають. Паводки за кількістю жертв і шкоди, яку вони завдають людям, посідають перше місце серед стихійних

© Петроченко В.І., Петроченко О.В., 2022

лих [2]. Так загальні збитки від паводка, що стався в західних регіонах України в 20-х числах червня 2020 р., оцінили на суму 3–4 млрд гривень. Паводок був спричинений проходженням інтенсивних грозових дощів та значним підвищенням водності в річках Дністер, Прут, Черемош, Бистриця. Пік паводка припав на 23–27 червня, його вважають найбільшим в історії Західної України за останні 60 років [5].

Розглядаючи паводки як глобальну багатоаспектну проблему, постає актуальна потреба застосування системного підходу до її рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Проаналізувавши результати попередніх досліджень та публікацій [2–18], а також директивних і законодавчих документів [19–23], було визначено такі основні напрямки системного вивчення та рішення проблеми паводків:

збір та аналіз статистичних даних проходження паводків в країнах світу та Україні. За цим напрямком виконано більшість наукових досліджень, зокрема наведених у [2–10];

класифікація паводків за їх генезисом [9–13];

районування території за ступенем паводкової небезпеки [14–15];

розробка концепції захисту від паводків [6; 10];

розробка науково-методичних засад визначення збитків від паводків та ефективності здійснення протипаводкових заходів [16–18];

підготовка та прийняття директиви Європейського Союзу та постанов уряду України щодо оцінки та управління паводковими ризиками [19–23].

Усвідомивши як актуальну необхідність рішення проблеми паводків, так і високу вартість заходів захисту від паводків, можна дійти висновку, що серед зазначених напрямків вирішення проблеми найбільш важливим є розробка концепції захисту від паводків. Удосконалення принципів положень існуючої концепції дозволить обирати для кожної зони паводкових ризиків найбільш ефективний варіант захисту. Враховуючи багатоальтернативність заходів протипаводкового захисту, в основу концепції захисту від паводків слід систематизацію за певними принципами та ознаками варіанти протипаводкових заходів. Отже, для ефективного вирішення проблеми

паводків, крім їх систематизації за вищезазначеними напрямками, необхідна систематизація заходів захисту.

Мета дослідження – удосконалити концепцію захисту від паводків шляхом систематизації протипаводкових заходів.

Методика дослідження. В основу дослідження покладено методологію системного аналізу.

Результати дослідження. Для передачі відомостей про стихійні явища, пов'язані з підвищенням води в річках та затопленням територій, в українській мові використовують терміни: «паводок», «повінь», «водопілля», «повідь», «повіддя». Безумовно, що використання всіх вказаних термінів в інформаційних матеріалах та повідомленнях про стихійні явища, пов'язані з підвищенням рівня води в річках та затопленням територій, або з «високою водою» («high water», англ.), має певний сенс. Проте під час проведення системних досліджень цих стихійних явищ та викладення одержаних результатів спеціалісти стикаються з незручностями спільного використання навіть двох таких основних термінів як «паводок» і «повінь».

В зв'язку з цим, перш за все потрібно було обґрунтування універсального, зручного для проведення системних досліджень терміну визначення стихійних явищ, пов'язаних з «високою водою».

Аналіз термінів, що використовують у різних мовах для визначення стихійних явищ, пов'язаних з «високою водою» (табл. 1), показує, що тільки в українській і російській мовах існують два основні конкуруючі між собою терміни, які часто використовують як синоніми. В українській мові – це «паводок» і «повінь», а в російській мові – це «паводок» і «наводнение».

За результатами дослідження пропонується надавати перевагу терміну «паводок» та використовувати його як універсальний під час проведення системних досліджень стихійних явищ, пов'язаних з «високою водою», та викладення результатів досліджень українською мовою за певних аргументів.

Першим аргументом доцільності цієї пропозиції є результат аналізу термінів «паводок» і «повінь», які недостатньо чітко визначені

1. Терміни, що використовують у різних мовах для визначення стихійних явищ, пов'язаних з «високою водою» («high water»)

Мова	Українська	Англійська	Російська	Білоруська	Польська
Назва явища	паводок	flood	паводок	паводка	powódź
	водопілля	floodplain	половодье	разводдзе	teren zalewowy
	повінь	flood	наводнение	паводка	powódź

в різних словниках. Наприклад, відповідно до гідроекологічного словника [24] маємо:

Паводок – фаза водного режиму річки, що може багаторазово повторюватися в різні сезони року; характеризується інтенсивним збільшенням витрат і рівня води внаслідок дощів чи сніготанення (під час відлиг).

Повінь – щорічно повторювана фаза водного режиму, яка характеризується найбільшою кількістю води в річці та максимальними рівнями, що часто стає стихійним лихом.

Отже, повінь повторюється щорічно в один і той же (переважно весняний) період, а паводок у будь-який сезон року. Тому згідно [24] будь-яку повінь можна назвати паводком, але не навпаки.

Другим аргументом доцільності універсального використання в системних дослідженнях терміну «паводок» є результат логічного аналізу фізичної суті паводка і повені. За логікою паводок слід сприймати в більш широкому значенні, а саме як стихійний гідродинамічний процес у руслі річки, кульмінаційною фазою якого є повінь. Тож пропонуються такі визначення:

паводок – стихійний динамічний процес, що складається з трьох фаз формування водного режиму річки: фази інтенсивного підвищення рівня та збільшення витрати води в річці, внаслідок інтенсивних опадів та танення снігу; фази досягнення найвищого рівня та найбільшої витрати води в річці, що часто супроводжується затопленням територій в заплавах та долинах річки; фази спаду рівня та зменшення витрати води в річці, що може супроводжуватись зсувами ґрунту на прилеглих до річки територіях;

повінь – фаза водного режиму річки, яка характеризується найвищим рівнем та найбільшою витратою води в річці, що часто супроводжується затопленням територій в заплавах та долинах річки.

Другою задачею дослідження було системне структурування комплексу заходів захисту від паводків. Було встановлено існування двох принципово відмінних типів протипаводкового захисту – ситуаційного і превентивного. Відповідно до двох типів захисту протипаводкові заходи поділено на ситуаційні і превентивні та систематизовані за варіантами і порядком виконання (табл. 2).

Заходи ситуаційного типу захисту, або ситуаційні протипаводкові заходи, виконують для захисту об'єктів певної зони паводкових ризиків під час наближення, проходження та завершення однієї конкретної паводкової ситуації.

Заходи превентивного типу захисту, або превентивні протипаводкові заходи, виконують для захисту об'єктів в зоні паводкових ризиків від багатьох паводків, які можуть бути у майбутньому протягом тривалого періоду часу.

Вказані типи протипаводкового захисту є альтернативними. За логікою їх не можна поєднувати для захисту, наприклад одного і того ж об'єкта в зоні паводкових ризиків. В зв'язку з цим, загальна концепція захисту від паводків містить дві альтернативні концепції: концепцію ситуаційного і концепцію превентивного протипаводкового захисту.

Кожна альтернативна концепція захисту містить підготовчу стадію та стадію реагування на паводки. До того ж для двох альтернативних концепцій заходи, що виконуються на

2. Системно-структурована схема заходів захисту від паводків

Підготовка стадія		Стадія реагування на паводки						
		тип захисту		ситуаційний тип протипаводкового захисту			превентивний тип протипаводкового захисту	
Розробка карт небезпек затоплення	Розробка карт ризиків затоплення	Прогноз паводків		Короткостроковий			Довгостроковий	
		Здійснення захисних заходів	Види захисних заходів	попереджувальні	аварійно-рятувальні	аварійно-відновлювальні	адаптаційні	водно-ландшафтні
		Порядок здійснення	Послідовне виконання всіх видів ситуаційних заходів в єдиному процесі в період наближення, проходження і закінчення паводка			Виконання одного з видів превентивних заходів, обраного за результатами обґрунтування їх технічної надійності і економічної ефективності		

підготовчій стадії, є загальними, а заходи, що виконуються на стадії реагування на паводки, принципово різняться.

На підготовчій стадії захисту від паводків для певної зони паводкових ризиків виконують розробку карт небезпек затоплення з виділенням контурів площ затоплення, залежних від фіксованих величин забезпеченості паводків.

Відповідно до карт небезпек затоплення на підготовчій стадії також розроблюють карти ризиків затоплення, що містять інформацію про втрати від паводків забезпеченості p , встановлені у фізичних показниках, і збитки від паводків, розраховані у грошових одиницях за трьома складовими:

$$Z_p = Z_p^{cy} + Z_p^{ekl} + Z_p^{ekn}, \quad (1)$$

де Z_p , Z_p^{cy} , Z_p^{ekl} , Z_p^{ekn} – збиток від паводка загальний, соціальний, екологічний, економічний, тис. грн/рік.

Якщо буде обрана концепція ситуаційного протипаводкового захисту, то на стадії реагування на паводки здійснюють короткострокові (до 12–15 діб) прогнози паводка. Вихідними даними короткострокового прогнозу є прогнозні дані про опади, підвищення температури та танення снігу, що надають гідрометеорологічні служби. Методи цього прогнозу базуються на використанні даних гідрометеорологічних служб, закономірностей руху води в руслах і закономірностей припливу води до досліджуваних ділянок річки, а також на розрахунках переміщення і трансформації водного потоку по окремих ділянках річки. За результатами короткострокових прогнозів видається інформація про очікувані максимальні витрати і рівні води [25].

Згідно з концепцією ситуаційного протипаводкового захисту на стадії реагування на паводки після короткострокового прогнозування здійснюють захисні заходи, які поділяються на: попереджувальні, аварійно-рятувальні і аварійно-відновлювальні.

Попереджувальні заходи виконують перед початком паводка. До складу попереджувальних входять заходи: прогнозування втрат та можливих збитків від паводка, що наближується; оповіщення населення про можливу небезпеку; підготовка засобів евакуації населення; розробка плану виконання аварійно-рятувальних заходів; підготовка засобів виконання рятувальних робіт.

Аварійно-рятувальні заходи виконують від початку паводка до його завершення. До складу аварійно-рятувальних входять заходи: оповіщення населення про початок паводка, масштаби і небезпеку паводка та рекомендо-

вані заходи і засоби індивідуального захисту осіб в зоні ризику; евакуація населення із зони ризику; вивезення худоби, техніки, матеріальних цінностей; нарощування дамб, кріплення уразливих ділянок берегів річок, ліквідація заторів в руслах річок та їх притоках; порятунків постраждалих людей, тварин, збереження майна; надання невідкладної медичної допомоги населенню.

Аварійно-відновлювальні заходи виконують після проходження паводка. До складу аварійно-відновлювальних входять заходи: відновлення пошкоджених засобів зв'язку, доріг, житла, виробничих будівель, інших об'єктів інженерної інфраструктури; надання постраждалим особам медичних послуг; виконання санітарно-епідеміологічних робіт; постачання населення продовольством, оджею та засобами, необхідними для виживання в екстремальних ситуаціях; локалізація та зупинення зсувів.

Якщо буде обрана концепція превентивного протипаводкового захисту, то на стадії реагування на паводки здійснюють довгостроковий (до 50–100 років) прогноз паводка. Методика довгострокового прогнозування паводків наведена в роботах [26; 27]. Методика базується на використанні даних гідрологічних спостережень паводків за минулі роки та обробці цих даних методами математичної статистики. За результатом довгострокового прогнозування паводків встановлюють залежності витрати води в річці та збитків в зоні паводкових ризиків від забезпеченості паводків у вигляді спадних гіперболічних функцій. Основним результатом довгострокового прогнозування є прогнозований в s -й зоні паводкових ризиків середньорічний збиток Z_s .

Згідно з концепцією превентивного протипаводкового захисту на стадії реагування на паводки після довгострокового прогнозування здійснюють захисні заходи, якими є: адаптаційні; водно-ландшафтні і гідротехнічні.

До адаптаційних протипаводкових заходів відносять: винесення 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, тобто вирощування на полях у зоні паводкових ризиків культур, що витримують тимчасове затоплення.

До водно-ландшафтних протипаводкових заходів відносять заходи, спрямовані на зміну умов формування паводкового стоку на площах водозбору; посадка на шляху формування

паводкових потоків лісосмуг; створення ставків накопичувачів; заболочування території; створення лісових масивів тощо.

До гідротехнічних превентивних проти-паводкових заходів відносять: заходи по збільшенню пропускної здатності річок для прискорення відведення води із зони паводкових ризиків; заходи акумулювання частини паводкового потоку перед зоною паводкових ризиків для зменшення надходження паводкових вод до зони паводкових ризиків; заходи будівництва гідротехнічних систем комплексного проти-паводкового захисту.

Третьою задачею дослідження було обґрунтування критерію вибору однієї з двох альтернативних концепцій захисту від паводків певної s -ї зони паводкових ризиків. В основу критерію покладено функціонально-вартісний принцип, за яким оцінюють вартісний, або інший показник функціонального (захисного) ефекту, віднесеного до вартості заходів, необхідних для отримання захисного ефекту. Критеріальним показником концепції проти-паводкового захисту

обрано індекс рентабельності інвестицій, за яким визначають величину відвернених проти-паводковими заходами збитків від паводків до витрат на здійснення заходів. Критеріальні показники концепції ситуаційного і превентивного захисту розраховують за формулами:

$$R_s^c = \frac{\overline{BZ_s^c}}{b_s^c + Z_s - \overline{BZ_s^c}}; \quad (2)$$

$$R_s^{np} = \frac{\overline{BZ_s^{np}}}{b_s^{np}}; \quad (3)$$

де R_s^c і R_s^{np} – індекс рентабельності інвестицій (загальних витрат), що припадають на один рік виконання в s -й зоні паводкових ризиків заходів відповідно до концепції ситуаційного і концепції превентивного захисту; $\overline{BZ_s^c}$ – середньорічні відвернені ситуаційними заходами збитки, тис. грн/рік; b_s^c – загальні витрати на здійснення ситуаційних заходів, що у середньому припадають на один рік, тис. грн/рік; Z_s – середньорічний збиток від паводків,



Рис. 1. Системна схема гідротехнічних проти-паводкових заходів

визначений за результатами довгострокового прогнозування, тис. грн/рік; BZ_s^{np} – середньорічні відвернені превентивними заходами збитки, тис. грн./рік; b_s^{np} – загальні витрати на здійснення ситуаційних заходів, що у середньому припадають на один рік, тис. грн/рік.

Отже, для захисту s -ї зони паводкових ризиків обирають концепцію захисту, залежно від того, який показник R_s^c чи R_s^{np} буде більшим. Оскільки не тільки Z_s , а й інші параметри, що входять у формули (2) і (3), можуть бути визначені тільки шляхом довгострокового прогнозування, то довгострокове прогнозування паводків є найбільш важливим елементом вибору концепції захисту від останніх та забезпечення її ефективного застосування.

Встановлено, що найбільшу віддачу надає проведення гідротехнічних превентивних протипаводкових заходів, які є більш надійними і забезпечують гарантований захисний ефект на тривалий період, що дорівнює розрахунковому строку експлуатації гідротехнічних споруд. На територіях, де здійснено превентивні гідротехнічні протипаводкові заходи, потреба виконання інших заходів мінімальна, або зовсім відсутня. Проте проведення гідротехнічних превентивних протипаводкових заходів вимагає значних капітальних і експлуатаційних витрат. Тому для вибору ефективних гідротехнічних протипаводкових заходів виникає потреба їх систематизації.

Четвертою задачею дослідження було системне структурування комплексу гідротехнічних протипаводкових заходів. Основою такого структурування було ділення гідротехнічних протипаводкових заходів за їх функціональним призначенням. Шляхом виділення двох основних Φ_1 і Φ_2 і однієї комбінованої Φ_k , функціональних альтернатив гідротехнічних протипаводкових заходів, а також визначення комплексу технологічних альтернатив, відповідних функціональним альтернативам, була побудована системна схема гідротехнічних протипаводкових заходів, рис. 1.

Першою функціональною альтернативою Φ_1 гідротехнічних протипаводкових заходів є збільшення витрати води, що відводиться руслом річки із зони паводкових ризиків з метою недопущення витоку води з русла та затоплення територій. Витрату води в річці Q_p визначають за формулою Шезі:

$$Q_p = \omega v = \omega C \sqrt{RI} \leq \omega [v], \quad (4)$$

де ω – площа живого перетину річки, м²; v – середня швидкість води в річці, м/с;

C – коефіцієнт опору тертя по довжині русла (коефіцієнт Шезі); R – гідравлічний радіус, м; I – гідравлічний похил русла, м/м; $[v]$ – гранично допустима нерозмивна середня швидкість води в річці, м/с.

Функціональній альтернативі Φ_1 відповідають три технологічні альтернативи: T_{1-1} ; T_{1-2} ; T_{1-3} . Виконання заходів за альтернативами T_{1-1} , T_{1-2} і T_{1-3} забезпечують можливість збільшення витрати Q_p до величин: Q_{p1} , Q_{p2} і Q_{p3} .

T_{1-1} – «Нарощування берегів річок» ($\omega_1 > \omega$; $R_1 > R$).

$$Q_{p1} = Q_p \frac{\omega_1 \sqrt{R_1}}{\omega \sqrt{R}}, \quad (5)$$

де ω_1 – збільшена площа живого перетину річки, м²; R_1 – гідравлічний радіус після здійснення заходу, м.

T_{1-2} – «Спрявлення русел річок» ($I_1 > I$; $L_1 < L$).

$$Q_{p2} = Q_p \frac{\sqrt{I_1}}{\sqrt{I}} = Q_p \sqrt{\frac{L}{L_1}}, \quad (6)$$

де I_1 – гідравлічний похил русла після здійснення заходу, м/м; L і L_1 – довжина ділянки русла до і після спрявлення, м.

T_{1-3} – «Кріплення русел річок» ($[v_1] > [v]$).

$$Q_{p3} = Q_p \frac{[v_1]}{[v]}, \quad (7)$$

де $[v_1]$ – збільшена після здійснення заходу гранично допустима нерозмивна середня швидкість води в річці, м/с.

Другою функціональною альтернативою Φ_2 гідротехнічних протипаводкових заходів є гальмування руху та затримання паводкових вод перед зоною паводкових ризиків. Функціональна альтернатива Φ_2 складається з двох функціональних альтернатив: Φ_{2-1} і Φ_{2-1} .

За функціональною альтернативою Φ_{2-1} затримують паводкові води в руслах річок із використанням двох технологічних альтернатив: T_{2-1-1} – спорудження регулюючих порогів та напівзагат; T_{2-1-2} – спорудження акумулюючих водосховищ гірського типу.

За функціональною альтернативою Φ_{2-2} затримують паводкові води в заплавах і долинах річок із використанням трьох технологічних альтернатив: T_{2-2-1} – спорудження захисних протипаводкових дамб; T_{2-2-2} – спорудження акумулюючих водосховищ рівнинного типу; T_{2-2-3} – спорудження польдерів.

Кожна технологічна альтернатива, що відповідає функціональній альтернативі Φ_2 , забезпечує захисний ефект, який оцінюється зниженням пікової витрати води в річці $\Delta Q(\Phi_2)$, що відповідає залежності:

$$\Delta Q(\Phi_2) \geq Q_n^{\max} - [Q_p], \quad (8)$$

де Q_n^{\max} і $[Q_p]$ – пікове значення гідрографа паводка, закладеного в проект заходів, і гранично допустима витрата води в річці в зоні паводкових ризиків, м³/с.

Комбіновану функціональну альтернативу Φ_k використовують зазвичай в системах комплексного протипаводкового захисту, де для захисту певної зони паводкових ризиків доцільно застосовувати заходи як за першою, так і другою функціональними альтернативами. Оптимальне співвідношення спільного застосування захисних заходів визначають методом біфуркації базику.

Висновки

1. Паводки за кількістю жертв і шкоди, яку вони завдають людям, посідають перше місце серед інших стихійних лих на планеті.

2. Проблема паводків має глобальний та багатоаспектний характер, тому запропоновано вирішувати цю проблему на засадах системного аналізу.

3. Виділено основні напрямки системного дослідження паводків за минулий період та встановлено, що найбільш актуальним напрямком є розробка концепції захисту від паводків.

4. Встановлено, що існуюча концепція захисту від паводків потребує суттєвого вдосконалення, перш за все, шляхом систематизації протипаводкових заходів та їх подальшої оптимізації.

5. Шляхом уточнення термінологічних понять паводка і повені обґрунтовано можливість та доцільність використання терміну «паводок» як універсального під час проведення системних досліджень стихійних явищ, пов'язаних із підвищенням рівня води в річках та затопленням територій, при цьому паводок запропоновано сприймати як динамічний процес, що склада-

ється з трьох фаз формування водного режиму річки, а повинь окремою кульмінаційною фазою цього процесу, тобто паводка.

6. Визначено два принципово відмінних типи протипаводкового захисту – ситуаційний і превентивний, що покладено в основу системного структурування протипаводкових заходів, а також дало підставу вважати загальну концепцію захисту від паводків такою, що складається з двох альтернативних концепцій: концепції ситуаційного протипаводкового захисту і концепції превентивного протипаводкового захисту.

7. Концепцією ситуаційного протипаводкового захисту передбачено здійснення короткострокового прогнозування (до 12–15 діб) очікуваного паводка і ситуаційних протипаводкових заходів, які здійснюють під час наближення, проходження та завершення певного паводка.

8. Концепцією превентивного протипаводкового захисту передбачено довгострокове прогнозування паводків, які можуть бути в зоні паводкових ризиків протягом майбутнього періоду часу (50–100 років), і превентивних протипаводкових заходів.

9. Наголошено, що серед превентивних протипаводкових заходів слід розрізняти адаптаційні, водно-ландшафтні і гідротехнічні заходи, при цьому гідротехнічні заходи є найбільш поширеними, але у зв'язку з їх складністю та потребою підвищення ефективності проектів протипаводкового захисту гідротехнічні протипаводкові заходи повинні бути систематизовані.

10. В основу систематизації гідротехнічних протипаводкових заходів покладено виділення принципово відмінних функціональних (захисних) альтернатив гідротехнічних заходів та множини технологічних альтернатив гідротехнічних заходів, відповідних функціональним альтернативам.

Бібліографія

1. Петроченко А.В. Проблема дефіцита води і паводков в Україні. *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. ФГБНУ «РосНИИПМ». Новочеркасск : РосНИИПМ. 2018. № 3(71). С. 133–140.
2. Авакян А. Б., Истомина М.Н. Наводнения конца XX в. *Природа*. 2001. № 10. С. 75–78.
3. Zong Yongqiang, Chen Xiqing. The 1998 flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*. 2000. № 22. P. 165–184.
4. Гамберг В. Наводнение в Китае (июль-октябрь 1931 г.). *Проблемы Китая*. 1931. № 89 (3–4). С. 153–158.
5. Інженерно-геологічний моніторинг Міжрегіонального офісу захисних масивів дніпровських водосховищ. URL: <https://www.mozmdv.gov.ua/pavodok-ta-osnovni-momenti-jogo-negativnogo-vplivu/>. (дата звернення 17. 11. 2021 р.).
6. Авакян А.Б. Наводнения. Концепция защиты. *Известия РАН. Серия: географическая*. 2000. № 5. С. 40–46.
7. Стихийні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / за ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. Київ : Вид-во «Ніка-Центр». 2006. 312 с.

8. Швец Г.И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР. Л. : Гидрометеиздат. 1972. 512 с.
9. Дячук В. А., Сусідко М.М. Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення. *Укр. географ. журн.* 1999. № 1. С. 47–50.
10. Ромащенко М. І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання / за ред. М.І. Ромащенко. Київ : Аграрна наука. 2012. 304 с.
11. Истомина М.Н. Классификация наводнений по их генезису. *Труды VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 2.* СПб : Гидрометеиздат. 2005. С. 47–53.
12. Авакян А. Б., Истомина М.Н. Природные и антропогенные причины наводнений. *Информационный сборник.* Москва : ЦСИ ГЗ МЧС России. 2001. № 8. С. 53–70.
13. Gentry A. H., Lopes Parody J. Deforestation and increased flooding of the Upper Amazon. *Science.* 1980. V. 210. № 4476. P. 1354–1356.
14. Сусідко М. М., Лук'янець О.І. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки. *Наук. праці УкрНДІГМ.* 2004. Вип. 253. С. 196–202.
15. Кичигина Н. В., Корытный Л.М. Районирование Восточной Сибири по опасности наводнений. *География и природные ресурсы.* 1997. № 3. С. 50–60.
16. Алексеев Н.А. Ущерб от паводков и методика его определения. *Труды В/О «Союзводпроект».* 1977. Вып. 2(47).
17. Скиданенко Ю.П. Аналіз методологічних підходів до визначення збитків від природних катастроф. *Вісник СумДУ. Серія Економіка.* 2007. № 1. С. 52–59.
18. Петроченко В.І., Сташук В.А. Еколого-економічна ефективність протиаводкових заходів. Київ : ДІУЕВР. 2009. 62 с.
19. Директива 2007/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2007 року «Про оцінку і управління ризиками затоплення».
20. 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».
21. Наказ МВС України від 17.01.2018 р. № 30 «Про затвердження Методики попередньої оцінки ризиків затоплення».
22. Наказ МВС України від 28.02.2018 р. № 153 «Про затвердження Методики розроблення карт загрози і ризиків затоплення».
23. Постанова Кабінету міністрів України від 4 квітня 2018 р. № 247 «Про затвердження Порядку розроблення плану управління ризиками затоплення».
24. Петровська М.А. Гідрологічний словник / за ред. проф. І.П. Ковальчука. Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2010. 140 с.
25. Заміховський Л. М., Клапоушак О.І. Аналіз методів і систем контролю та прогнозування рівня паводкових вод. *Нафтогазова енергетика.* 2011. № 2(15). С. 99–105.
26. 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.
27. Петроченко О.В. Оцінка і прогнозування паводкових ризиків в річкових басейнах. / *Екологічна безпека та природокористування.* 2020. № 1 (33). С. 18–41.

References

1. Petrochenko, A. V. (2018). Problema defitsita vody i pavodkov v Ukraine [The problem of water scarcity and floods in Ukraine]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*, 3(71), 133–140 [in Russian].
2. Avakyan, A. B. & Istomina M.N. (2001) Navodneniya kontsa XX v. [Floods of the late XX century]. *Nature*, 10, 75–78 [in Russian].
3. Zong Yongqiang, & Chen Xiqing. (2000). The 1998 flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*, 22, 165–184.
4. 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].
5. Inzhenerno-geolohichnyy monitorynh Mizhrehional'noho ofisu zakhysnykh masyviv dniprovs'kykh vodokhovysch [Engineering-geological monitoring of the Interregional office of protective massifs of the Dnieper reservoirs]. URL: <https://www.mozmdv.gov.ua/pavodok-ta-osnovni-momenti-jogo-negativnogo-vplivu/> [in Russian].

6. Avakyan, A. B. (2000). Navodneniya. Kontsepsiya zashchity. [The concept of protection]. *Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya*, 5, 40–46 [in Russian].
7. Lipins'kyy, V. M., Osadchyy, V. I., & Babichenko, V. M. et al (2006) Stykhiini meteorolohichni yavlyshcha na terytorii Ukrainy za ostannie dvadtsytrichchia (1986–2005 rr.) [Natural meteorological phenomena in Ukraine over the last twenty years (1986–2005)]. Kyiv : Nika-Tsentr. [in Russian].
8. Shvets, G.I. (1972) Vydayushchiesya gidrologicheskkiye yavleniya na yugo-zapade SSSR [Outstanding hydrological phenomena in the south-west of the USSR]. Leningrad : Gidrometeoizdat [in Russian].
9. Diachuk, V. A., & Susidko, M. M. (1999) Pavodky v Zakarpatti ta prychnyny yikh vynyknennia [Floods in Transcarpathia and their causes]. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 47–50. [in Ukrainian]
10. Romashchenko, M. I., & Savchuk, D. P. (2012). Vodni stykhiyi. Karpats'ki poveni. Statystyka, prychnyny, rehulyuvannya. [Water elements. Carpathian floods. Statistics, causes, regulation]. Kyiv : Ahrarna nauka [in Ukrainian].
11. Istomina M. N. (2005). Klassifikatsiya navodneniy po ikh genezisu [Classification of floods by their genesis]. *Trudy VIVserossiyskogo gidrologicheskogo s'yezda. Sektsiya 2*. SPb : Gidrometeoizdat. 47–53. [in Russian].
12. Avakyan A. B., & Istomina M.N. Prirodnyye i antropogennyye prichiny navodneniy [Natural and anthropogenic causes of floods]. *Informatsionnyy sbornik. M. : TSSI GZ MCHS Rossii. № 8*. 53–70.
13. Gentry, A. H., & Lopes, Parody J. (1980). Deforestation and increased flooding of the Upper Amazon. *Science*, Vol. 210, 4476, 1354–1356.
14. 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].
15. Kichigina N. V., & Korytnyy L.M. (1997). Rayonirovaniye Vostochnoy Sibiri po opasnosti navodneniy. [Zoning of Eastern Siberia by flood hazard]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 3, 50–60. [in Russian].
16. Alekseyev, N. A. (1977). Ushcherb ot pavodkov i metodika yego opredeleniya. [Flood damage and the method of its determination]. *Trudy V/O «Soyuzvodproyekt», Vyp. 2(47)*. [in Russian].
17. 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 Russian].
18. Petrochenko, V.I., & Stashuk, V.A. (2009). Ekoloho-ekonomichna efektyvnist protypavodkovykh zakhodiv [Ecological and economic efficiency of flood control measures]. Kyiv : DIUEVR. [in Ukrainian].
19. Dyrektyva 2007/60/ES Yevropeys'koho Parlamentu i Rady (2007). 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»].
20. Postanova Kabinetu ministriv Ukrayiny (2017). Pro vykonannya Uhody pro asotsiatsiyu mizh Ukrainoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony [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]. Cabinet of Ministers of Ukraine, № 1106 [in Ukrainian].
21. 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 [in Ukrainian].
22. 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 [in Ukrainian].
23. 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 [in Ukrainian].
24. Petrovs'ka, M. A. (2010) Hidroekolohichnyy slovnyk [Hydroecological Dictionary]. L'viv : Vydavnychyy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

25. Zamikhovs'kyy, L. M., & Klapoushchak, O. I. (2011) Analiz metodiv i system kontrolyu ta prohnozuvannya rivnya pavodkovykh vod [Analysis of methods and systems for flood water level control and forecasting]. Naftohazova enerhetyka. 2(15), 99–105 [in Ukrainian].

26. Petrochenko, V. I., & Petrochenko, A. V. (2018). Nauchno-metodicheskoye obosnovaniye sistem preventivnoy protivopavodkovoy zashchity territoriy v basseynakh rek [Scientific and methodological substantiation of preventive flood protection systems in river basins]. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Vodokhozyaystvennoye stroitel'stvo i teploenergetika. 2(110), 44–48 [in Russian].

27. 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].

V.I. Petrochenko, O.V. Petrochenko

Systematization of floods and anti-flood measures

Abstract. *The problem of floods and conceptual issues of flood protection based on system analysis was considered. It is well-known that floods are among the most dangerous natural phenomena that have accompanied mankind since ancient times. Taking into account the global and multifaceted nature of the flood problem, there is a need to apply a systematic approach to its solution. The main areas in which the problem of floods has been systematically studied and solved in previous years were highlighted. It was found out that the most relevant is the area of developing the concept of flood protection. For the convenience of systematic research of floods and the development of the concept of flood protection, the terminological concepts of flood and flooding were clarified. The possibility and expediency of using the term «flood» as a universal in systematic research were substantiated. The systematic structuring of flood control measures was performed, which is based on the division of measures into two types of protection – situational and preventive. It is proposed to consider the general concept of flood protection as consisting of two alternative concepts: the concept of situational flood protection and the concept of preventive flood protection. It is proposed to choose alternative concepts using the method of functional-cost analysis. The concept of situational flood protection provides for short-term flood forecasting and implementation of situational flood protection measures during flood approach, passage, and end. The concept of preventive flood protection provides for long-term flood forecasting and implementation of one of preventive flood protection measures, among which the most common and promising are hydraulic measures. The systematization of hydraulic flood control measures was performed, which is based on the allocation of two opposite in nature functional alternatives in the structure of measures. By the first functional alternative, the flood flow is diverted from the flood risk zone through the river bed. By the second functional alternative, part of the flood flow is inhibited and delayed in front of the flood risk zone. A system scheme of hydro-technical flood control measures was developed, on which, following functional alternatives many technological alternatives of hydro-technical measures are given.*

Key words: flood, system analysis, protection concept, flood risk zone, flood control measures.