

ОСНОВИ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 004.942

Ю.Д. СТЕФАНИШИНА-ГАВРИЛЮК, Д.В. СТЕФАНИШИН,
О.М. ТРОФИМЧУК

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ ЗБИТКІВ ВІД ПОВЕНЕЙ НА РІКАХ ЗА ДАНИМИ МОНІТОРИНГУ

***Анотація.** Розглянуто задачу прогнозування ризиків збитків від повеней за даними моніторингу як добутоків збитків та ймовірностей перевищення максимальних витрат води. Запропоновано новий метод прогнозування ризиків збитків від повеней за даними моніторингу на основі ситуаційних та індуктивних моделей. Задача вирішується на прикладі моделювання ризиків збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса в залежності від максимальних витрат води р. Тиса, що визначалися на гідрометричному посту Вилок.*

***Ключові слова:** ймовірність перевищення, індуктивна модель, максимальні витрати води, повінь, ризики збитків, ряди динаміки, ситуаційна модель.*

Вступ. Серед стихійних лих різного генезису щодо частоти, площі поширення, нанесення матеріальних збитків перше місце в Україні займають явища і процеси гідрометеорологічного походження, серед яких основну загрозу несуть повені на ріках. Особливо часто повені трапляються в західних районах нашої країни. Зокрема, одними з найбільш повененебезпечних в Європі вважаються басейни річок Тиси, Дністра та Пруту Карпатського регіону [1]. Досить вразливими до повеней природного походження є також басейни Західного Бугу та Правобережжя Прип'яті, де існують сприятливі умови для їх формування у межах Волинської та Подільської височин і на Поліській низовині [2].

Поняття повені як стихійного явища тісно пов'язане з людиною та її діяльністю, адже природні водопілля та паводки, які відбуваються регулярно на більшості рік, не є шкідливими, а, навпаки, корисними для річкової екосистеми. Під час їх проходження очищаються русла, заряджаються водою й збагачуються намулом заплави. Повені відбуваються тоді, коли при паводках або водопіллях затоплюються території, які використовуються людиною, і виникають збитки. Таким чином, повені є ключовим природним фактором ризику, що стримує або обмежує господарську діяльність на прирічкових територіях [3–6].

Збитки від повеней залежать від різних факторів: висоти й швидкості підйому рівнів води, тривалості їх стояння, пори року, ступеня освоєння й економічного розвитку території, щільності населення, від своєчасності прогнозу й вживання попереджувальних заходів, від наявності й ефективності проти-повіневих гідротехнічних споруд тощо. Важливе значення для мінімізації збитків від повеней мають своєчасне оповіщення і проведення евакуації населення, сільськогосподарських тварин і матеріальних цінностей з вірогідного району затоплення. Повінь може обумовлюватися зворотним гідрологічним зв'язком між підземним та поверхневим стоком, коли при інфільтрації води з переповненого русла в підземний стік, через пласти добре проникливих ґрунтів, має місце явище «підземної повені» з підтопленням «захищених» протипаводковими дамбами угідь, населених пунктів тощо. У свою чергу, будівництво гребель та дамб для захисту від повеней на одних ділянках ріки може спричинити негативні зміни морфологічних та гідравлічних характеристик русла, режиму твердого стоку тощо на інших ділянках [7, 8], зі зниженням пропускної здатності живого перерізу ріки при проходженні паводків і водопіль, й стати причиною виникнення «наведених» повеней. Інтенсивне танення снігів у весняний час, потужні та тривалі зливові дощі, випадання сильних дощів в період інтенсивного танення снігу, льодові затори і зажори внаслідок природних причин та трансформації русел в результаті діяльності людини, сприятливі для виникнення паводків особливості гідрологічного режиму конкретної ріки, геоморфологічні особливості території водозборів, висока густина річкової мережі, зменшення залісненості та заболоченості водозборів, зниження інфільтраційних властивостей попередньо зволжених ґрунтів підстилаючої поверхні на момент формування поверхневого стоку, відсутність вегетації в холодну пору року, кліматичні фактори тощо, руйнування протиповіневих дамб – це неповний перелік чинників, які здатні впливати на перебіг проходження повеней на ріках та їх наслідки [1–8]. Все це надзвичайно ускладнює задачу прогнозування параметрів повеневої небезпеки на основі строгих, детерміністичних (динамічних) моделей навіть в межах окремих, добре вивчених в гідрологічному та інших відношеннях, річкових басейнів.

Імовірнісний підхід до прогнозування повеневої небезпеки. Оскільки гідрологічні явища і процеси в переважній більшості є багатофакторними, представляють результат дії надзвичайно великого числа факторів, ступінь впливу кожного з яких на формування явища, що розглядається, повноцінно врахувати практично неможливо, то більш адекватним підходом до прогнозування повеневої небезпеки слід визнати імовірнісний підхід, що ґрунтується на побудові моделей-інтерпретацій і моделей-екстраполяцій за даними моніторингу (рядів спостережень) з використанням методів математичної статистики й теорії ймовірностей.

Зокрема, найпростішою і найбільш популярною математичною моделлю, яка застосовується при прогнозуванні максимальних гідрологічних характеристик (рівнів, витрат води) в рамках імовірнісного підходу, є модель випадкової величини [9, 10]. Її використовують у випадках, коли дані моніторингу формують стаціонарні ряди динаміки, де зі збільшенням числа спостережень середній їх результат практично перестає бути випадковим і може бути передбаченим з великим ступенем визначеності.

Для більшості рік, що не зазнали значного антропогенного перетворення, і за наявності рядів даних максимальних характеристик, отриманих протягом

достатньо тривалих спостережень (30–40 членів ряду річних максимумів і більше), ця модель повністю себе виправдовує. Нижче, на рис. 1, наведено ряд спостережених максимальних витрат води паводків на р. Тиса (гідрометричний пост Вилोक, Закарпатська область), що може слугувати прикладом стаціонарного ряду динаміки, для якого справедливими є граничні теореми теорії ймовірностей.

Модель випадкової величини задається розподілом ймовірностей або функцією розподілу ймовірності випадкової змінної [11]. Найпростішою інтерпретаційною ймовірнісною моделлю, яку застосовують в гідрологічних розрахунках, є емпірична крива забезпеченості (ймовірності перевищення) (рис. 2). У вітчизняній практиці емпіричну ймовірність перевищення $\hat{P}(m)$ часто встановлюють за формулою Н.Н. Чегодаєва [10]:

$$\hat{P}(m) = \frac{m - 0,3}{n + 0,4}, \tag{1}$$

де m – порядковий номер члена упорядкованого у порядку спадання варіаційного ряду; n – загальна кількість членів ряду.

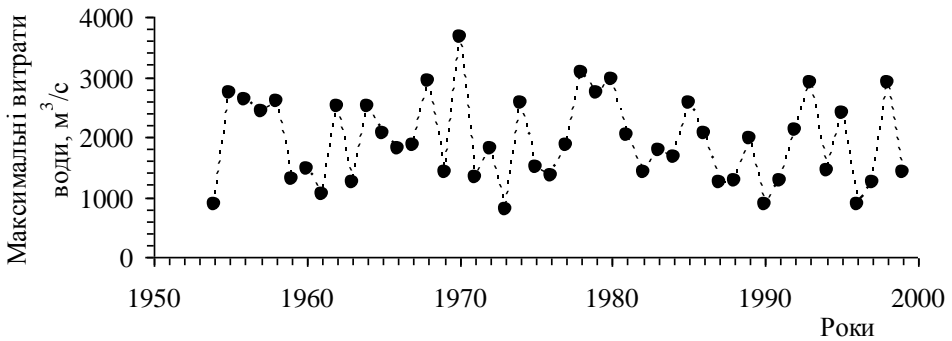


Рис. 1 – Спостережені максимальні витрати води паводків на р. Тиса (гідрометричний пост Вилोक, Закарпатська область)

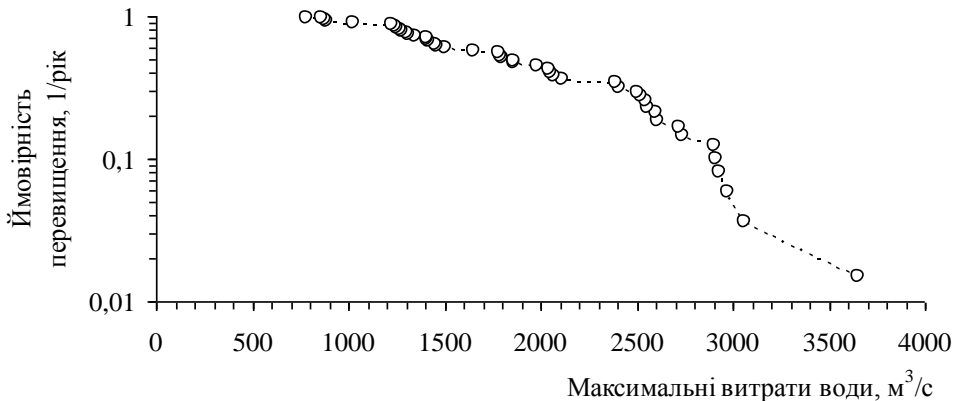


Рис. 2 – Емпірична крива забезпеченості (ймовірності перевищення) максимальних витрат води р. Тиса (гідрометричний пост Вилोक, Закарпатська область)

Емпіричну (статистичну) криву забезпеченості (ймовірності перевищення), представлену на рис. 2, можна також розглядати як емпіричну криву ризику перевищення спостережених максимальних витрат води р. Тиса на гідрометричному посту Вилोक. За її допомогою, в межах спостережених значень максимальних витрат води р. Тиса в створі Вилोक, можна оцінити статистичну ймовірність того, що відповідна витрата паводку в цьому створі буде не меншою (перевищить) деяке значення. Наприклад, статистична ймовірність перевищення найбільшого зі спостережених значень максимальної витрати води р. Тиса на гідрометричному посту Вилोक в $3650 \text{ м}^3/\text{с}$ за даними 1954–1999 рр. (рис. 1, 2) складає $\sim 0,0151 \text{ рік}^{-1}$.

З метою прогнозування ймовірності перевищення максимальних витрат води, що за період моніторингу не спостерігалися, використовуються аналітичні функції розподілу ймовірності. Останні можуть використовуватися як моделі-інтерпретації – для згладжування емпіричних кривих ймовірності перевищення, так і моделі-екстраполяції – для пролонгації кривих ймовірності перевищення в область гіпотетичних, малоймовірних значень. Оскільки ряди даних спостережень за максимальними гідрологічними характеристиками зазвичай володіють асиметрією, іноді значною, то при моделюванні застосовують закони розподілу, відмінні від нормального. Найчастіше використовуються трьохпараметричний гама-розподіл С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля, розподіли К. Пірсона III типу, Е. Гумбеля I типу, двохпараметричний логарифмічно-нормальний розподіл та ін. [9, 10]. Приклади використання деяких аналітичних функцій розподілу ймовірності при моделюванні ймовірності перевищення максимальних витрат води паводків на р. Тиса в створі Вилोक наведено на рис. 3.

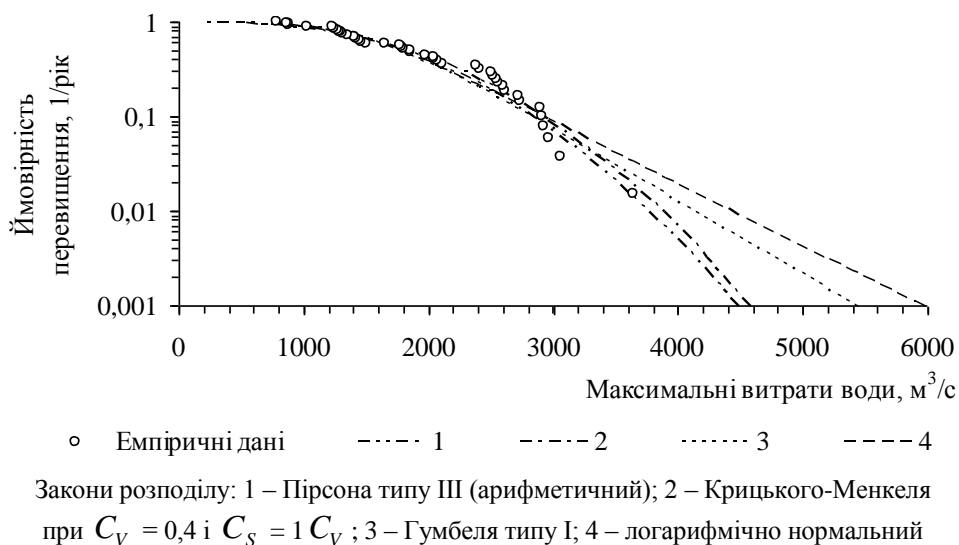


Рис. 3 – Результати моделювання ймовірності перевищення максимальних витрат води р. Тиса (гідрометричний пост Вилोक, Закарпатська область) з використанням різних аналітичних законів розподілу ймовірності

Характерно, що в області значень максимальних витрат паводків, що часто повторюються, вищенаведені та інші аналітичні закони розподілу

ймовірності, що використовуються в гідрології і є адекватними в статистичному змісті, дають близькі результати і можуть розглядатися як практично рівноцінні моделі-інтерпретації. Відповідно, кожен з наведених на рис. 3 аналітичних кривих розподілу ймовірності можна розглядати як цілком прийнятний варіант аналітичної моделі-інтерпретації для оцінки ризику перевищення максимальних витрат води p . Тиса на гідрометричному посту Вилоч в області спостережених значень. В той же час, різні аналітичні закони розподілу ймовірності, кожен з яких добре погоджується зі спостереженими значеннями максимальних витрат паводків, що часто повторюються, в області значень максимальних витрат паводків, що рідко повторюються або ще не спостерігалися, дають значне розходження модельних значень. Це ускладнює вибір оптимальної моделі-екстраполяції серед статистично значущих аналітичних законів розподілу ймовірності, породжує нестохастичну невизначеність результатів аналітичного прогнозування максимальних витрат малої ймовірності паводків, здатних формувати руйнівні повені. На необхідність врахування цієї складової невизначеності прогнозування максимальних витрат води паводків на ріках на основі рядів даних гідрологічних спостережень в рамках імовірнісного підходу ми звертали увагу в роботах [12–15], де наведено різні методи її подолання.

Метод прогнозування за даними моніторингу на основі ситуаційних та індуктивних моделей. Традиційні підходи до побудови імовірнісних математичних моделей за емпіричними даними (в загальному випадку як моделей-інтерпретацій, так і моделей-екстраполяцій) ґрунтуються на принципі оптимізації. Однак навіть в найбільш простих задачах інтерпретаційного імовірнісного моделювання за емпіричними даними принцип оптимізації, який передбачає вихід на ряд граничних обмежень, практично ніколи не виконується [16, 17]. Це ускладнює задачу побудови адекватної моделі за даними спостережень, яку можна використовувати для прогнозування. Різні результати ймовірності перевищення, зокрема, отримуються для значень, що рідко повторювалися, навіть за формулами емпіричної ймовірності: Чегодасєва, Вейбулла, Таккея, Блома, Хазена [9, 10, 12].

Задача прогнозування ризиків збитків від повеней як добутків (логічних чи арифметичних) значень збитків та ймовірностей перевищення максимальних витрат води суттєво ускладнюється ще й тим, що ряди динаміки збитків від повеней на ріках, досить часто, у силу цілого ряду причин, є нестационарними, немонотонними, із загальними тенденціями до наростання в часі (рис. 4), на фоні, зазвичай, стаціонарних (або квазістаціонарних) рядів спостережених значень максимальних витрат води паводків (рис. 1).

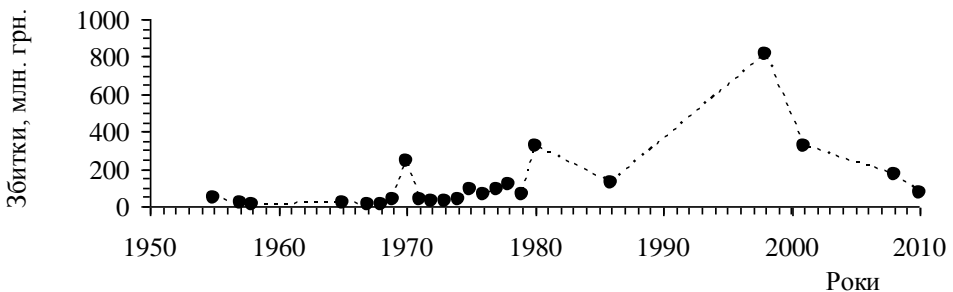


Рис. 4 – Ряд динаміки збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса

Для вирішення поставленої задачі пропонується використати метод прогнозування за даними моніторингу, що ґрунтується на побудові ситуаційних і індуктивних моделей [18]. Основні його положення наступні.

Під ситуаційною моделлю розуміється модель, адаптована до певної ситуації (прогнозного фону) і яка є адекватною лише для цієї ситуації. Прогнозний фон характеризується як сукупність зовнішніх і внутрішніх умов, істотних для вибору структури і коефіцієнтів (параметрів) моделі. Ситуаційні моделі будуються на основі рядів актуальних (фактичних) даних рядів динаміки – даних моніторингу, і, по суті, відображають окремі фазові стани відповідної динамічної системи на різних інтервалах часу. При цьому перехід від однієї ситуаційної моделі до іншої, які визначають сусідні фазові стани динамічної системи, може відбуватися немонотонно (стрибкоподібно) [18].

Результати ситуаційного моделювання (моделні дані) формують підставу для наступної побудови індуктивних моделей, де під індуктивною моделлю розуміється модель, отримана з узагальнення (ансамблю) кількох ситуаційних моделей. Індуктивна модель, яка будується на основі рядів модельних даних, що являють собою результати статистичної обробки актуальних даних і/або ситуаційного моделювання, може охоплювати кілька різнорідних кластерів актуальних даних і, таким чином, відображати складну еволюцію модельних значень результуючої змінної стану динамічної системи в часі.

Прогнозування може здійснюватися як на основі ситуаційних моделей (в короткочасній перспективі), за допомогою яких відслідковується поведінка ендогенної змінної моделі в межах інтервалів часу, де ситуаційні моделі є адекватними, так і на основі індуктивних моделей, як моделей «рівнів», за допомогою яких відслідковується еволюція ситуаційних моделей як фазових портретів минулих станів динамічної системи і можуть встановлюватися ситуаційні моделі для визначення залежної змінної для майбутніх періодів.

При такій постановці задачі в якості рівнянь зв'язку при побудові ситуаційних і індуктивних моделей можуть використовуватися відносно прості залежності, що легко адаптуються до нових даних та змін прогнозного фону в рядах динаміки. При необхідності можуть враховуватися лаги між змінними моделей. Допускається модифікація змінних моделі з метою побудови адекватних ситуаційних і індуктивних моделей для цілей прогнозування.

Приклад ретроспективного прогнозування ризиків збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса, що сталися в 1980, 1986 та 1998 рр., за даними моніторингу. Використовувався ряд динаміки зафіксованих збитків від повеней в басейні р. Тиса в межах Закарпатської області України, який наведено на рис. 4, та ряд максимальних витрат води р. Тиса, що визначалися на гідрометричному посту Вилочок (рис. 1).

Візуальний аналіз ряду динаміки збитків (рис. 4) на проміжку 1957–1979 рр. від повеней, що передували катастрофічним повеням 1980, 1986 та 1998 рр. в басейні р. Тиса, дозволяє виділити три ймовірні часові кластери відносної стаціонарності або монотонності вибірових рядів збитків (див. рис. 5): 1) 1957–1969 рр.; 2) 1970–1974 рр.; 3) 1975–1979 рр.

З метою можливості використання відповідних вибірових рядів динаміки (кластерів) для побудови ситуаційних моделей було проведено кореляційний аналіз даних. Аналізувалися кореляційні зв'язки між збитками та максимальними витратами води на відповідних проміжках часу: 1) з 1957 р. по 1969 р.; 2) з 1970 р. по 1974 р.; 3) з 1975 р. по 1979 р. На всіх трьох виділених

проміжках часу було встановлено добру кореляційну залежність між значеннями максимальної витрати води, як екзогенної змінної, та значеннями ризику збитків $R(D_i)$, як ендогенної змінної, які визначалися як добутки значень збитків D_i від повеней та емпіричних ймовірностей перевищення \hat{P}_i відповідних їм значень максимальних витрат води, що при цьому спостерігалися:

$$R(D_i) = D_i \cdot \hat{P}_i, \quad (2)$$

де ймовірності \hat{P}_i визначалися за формулою (1) для відповідних вибірових рядів: 1) з 1954 р. по 1969 р.; 2) з 1954 р. по 1974 р.; 3) з 1954 р. по 1979 р.

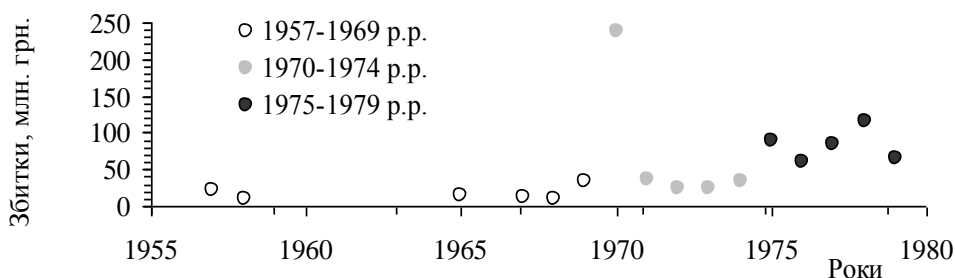


Рис. 5 – Виділення вибірових рядів динаміки збитків від повеней, що передували катастрофічним повеням 1980, 1986 та 1998 рр. в басейні р. Тиса

Результати розрахунків зведено в таблицю.

Ретроспективні ризики збитків від руйнівних повеней в басейні р. Тиса за даними 1957–1979 рр.

Роки	Збитки, млн грн	Максимальна витрата, м ³ /с	\hat{P}_i , 1/рік	$R(D_i)$, млн грн/рік
1957	21,3	2410	0,405303	8,632955
1958	9,8	2600	0,253788	2,487121
1965	14,2	2070	0,443182	6,293182
1967	10,9	1860	0,481061	5,243561
1968	10,4	2930	0,102273	1,063636
1969	34,4	1420	0,708333	24,36667
1970	237	3650	0,026515	6,284091
1971	35,5	1310	0,784091	27,83523
1972	24	1790	0,594697	14,27273
1973	23,5	783	0,973485	22,87689
1974	33,6	2560	0,291667	9,8
1975	87,9	1500	0,632576	55,60341
1976	60,1	1350	0,746212	44,84735
1977	85,2	1860	0,481061	40,98636
1978	115,8	3060	0,064394	7,456818
1979	64,4	2720	0,17803	11,46515

Коефіцієнти кореляції r між ризиками збитків та максимальними витратами води для виділених часових інтервалів, відповідно, склали: 1) з 1957 р. по 1969 р., $r = -0,8161$; 2) з 1970 р. по 1974 р., $r = -0,8852$; 3) з 1975 р. по 1979 р., $r = -0,9632$.

За результатами кореляційного аналізу було побудовано три ситуаційні моделі залежності ризиків збитків від максимальних витрат води, які наведено на рис. 6.

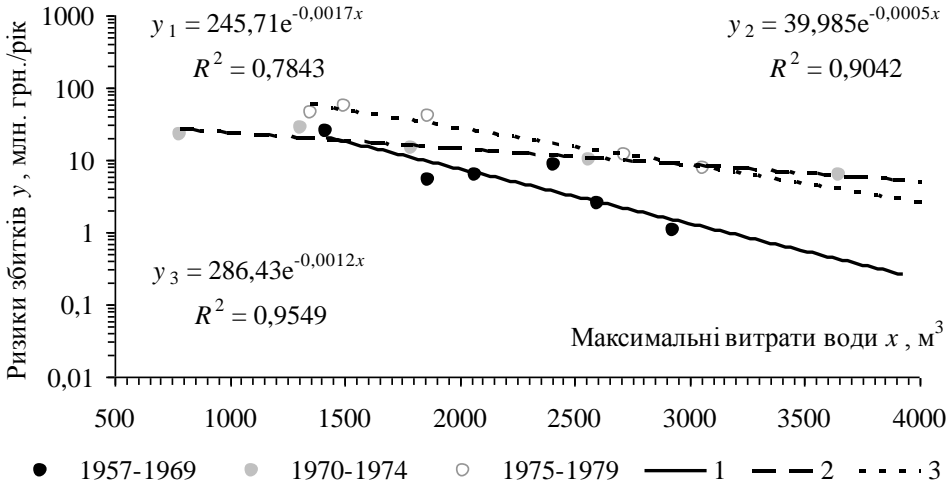


Рис. 6 – Ситуаційні моделі залежності ризиків збитків в басейні р. Тиса від максимальних витрат води р. Тиса на гідрологічному посту Вилок на інтервалі 1957–1979 рр.

Ситуаційні моделі залежності ризиків збитків в басейні р. Тиса від максимальних витрат води на гідрологічному посту Вилок, які зображено на рис. 6, володіють високими коефіцієнтами детермінації (R^2) і можуть вважатися адекватними на вибраних інтервалах: 1) з 1957 р. по 1969 р.; 2) з 1970 р. по 1974 р.; 3) з 1975 р. по 1979 р. Відповідно, на основі модельних значень ризиків збитків, отриманих при фіксованих витратах води за допомогою цих ситуаційних моделей, можуть бути побудовані індуктивні моделі (моделі «рівнів»), які, відображаючи еволюцію модельних значень ризику збитків, дозволять відтворити перспективні ситуаційні моделі ризику на заданих періодах упередження прогнозу.

На рис. 7. наведено сімейства індуктивних моделей, виконаних у вигляді трендів на кінець деякого інтервалу часу (а) та на його початок (б) (модельні значення згідно з рівняннями зв'язку, які показано на рис. 6, встановлювалися, відповідно, на кінець і на початок виділених часових інтервалів). За їх допомогою було виконано ретроспективне прогнозування ризиків збитків від катастрофічних повеней, що сталися в 1980, 1986 та 1998 рр., а з метою тестування адекватності відповідних індуктивних моделей було виконано співставлення фактичних ризиків збитків від цих повеней (значення збитків 325 млн грн, 127,9 млн грн, 810 млн грн, відповідно) та їх прогнозних значень. Прогнозування на основі індуктивних моделей здійснювалося при

спостережених максимальних витратах води р. Тиса на гідрологічному посту Вилोक в 1980, 1986 та 1998 рр., які склали, відповідно, 2970 м³/с, 2050 м³/с, 2900 м³/с. Емпіричні ймовірності перевищення (0,05819; 0,403017; 0,122845), 1/рік, відповідних максимальних витрат води перераховувалися для ряду, який охоплював період спостережень з 1954 р. по 1998 р. (рис. 1).

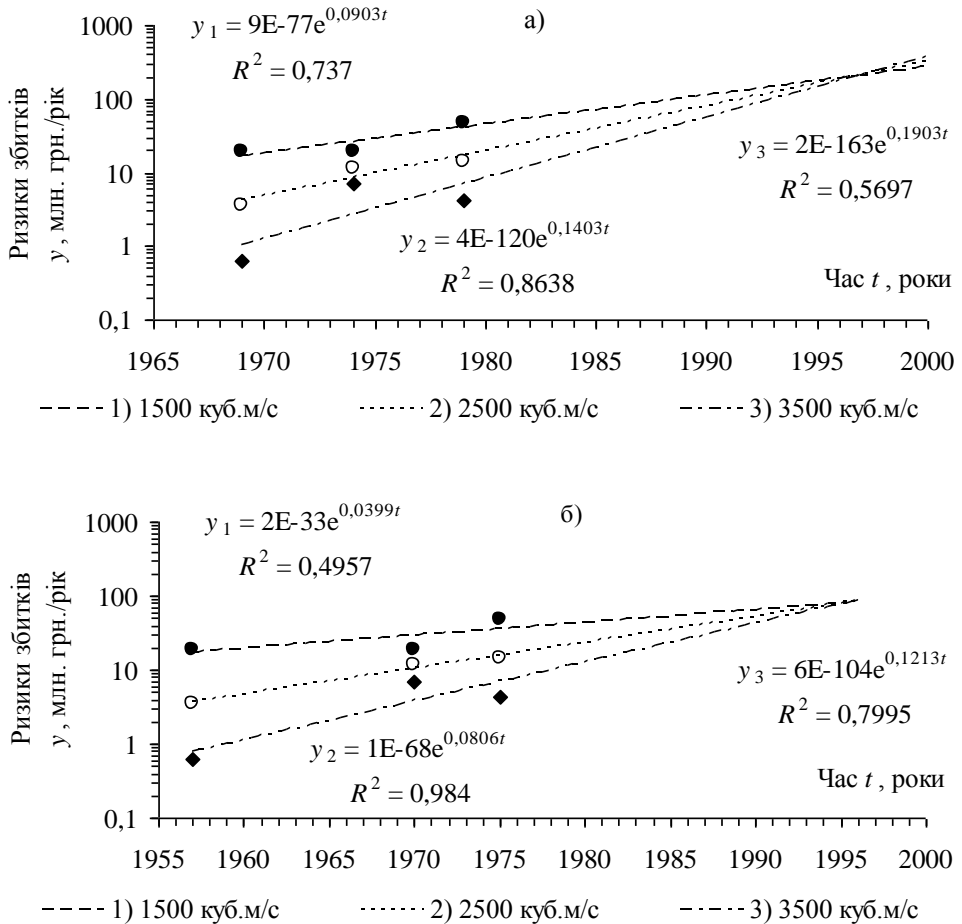


Рис. 7 – Індуктивні моделі залежності ризиків збитків в басейні р. Тиса від максимальних витрат води р. Тиса на гідрологічному посту Вилок

Виконувалися по два ретроспективні прогнози ризиків збитків від катастрофічних повеней, що сталися в 1980, 1986 та 1998 рр.:

- прогноз 1 – прогнозна оцінка ризику збитків для відповідного року як для останнього року на відповідному ситуаційному інтервалі;
- прогноз 2 – прогнозна оцінка ризику збитків для відповідного року як для першого року на відповідному ситуаційному інтервалі.

Результати прогнозування та співставлення фактичних ризиків збитків від повеней та їх прогнозних значень наведено на рис. 8.

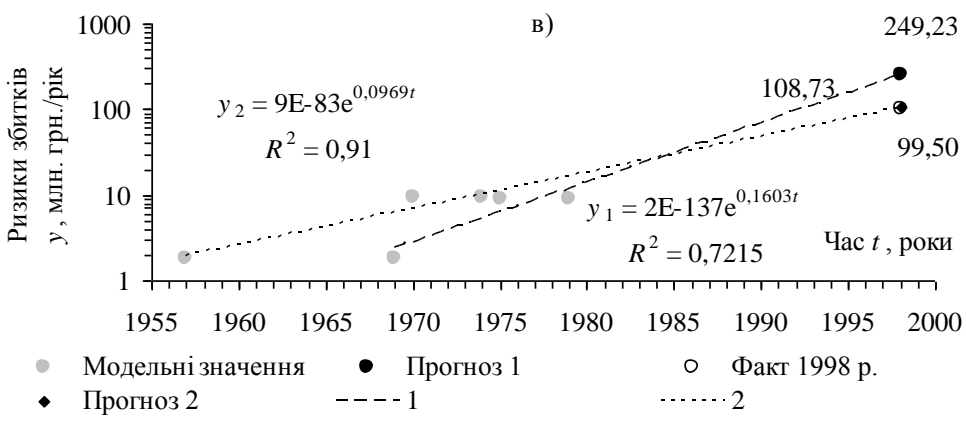
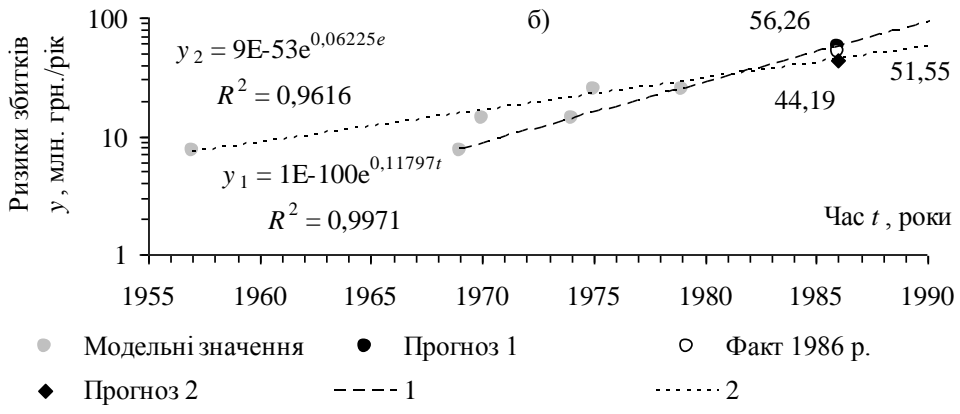
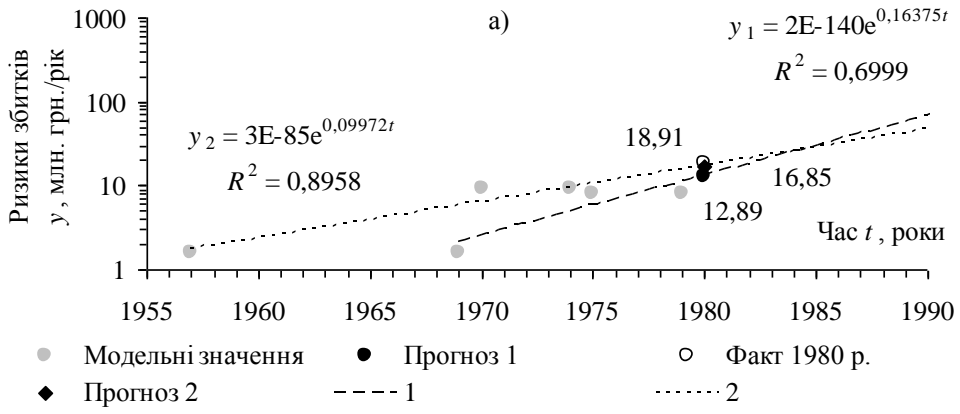


Рис. 8 – Результати ретроспективного прогнозування ризиків збитків від катастрофічних повеней 1980 р. (а), 1986 р. (б), 1990 р. (в) зі співставленням фактичних ризиків збитків та їх прогнозних значень

Висновки. Встановлено, що вибіркоким рядам динаміки збитків від повеней, що відбуваються в басейні р. Тиса, можуть відповідати адекватні ситуаційні моделі залежності ризиків збитків від максимальних витрат води р. Тиса на гідрометричному посту Вилочок. Показано, що на основі модельних значень ризиків збитків, отриманих за допомогою ситуаційних моделей, можна побудувати індуктивні моделі, які дозволяють відтворити перспективні ситуаційні моделі ризиків збитків від повеней в басейні р. Тиса на заданих періодах упередження прогнозу.

Слід відмітити, що на точність прогнозування, особливо на віддалену перспективу, коли ми не можемо достеменно встановити межі окремих ситуаційних інтервалів на заданому горизонті прогнозування, може суттєво вплинути вибір індуктивної моделі як прогнозної моделі на початок чи кінець ситуаційного інтервалу, що вкладається у вибраний горизонт прогнозування. Зокрема, похибка прогнозування на 1998 р. як на кінець деякого перспективного ситуаційного інтервалу в нашому прикладі перевищила 150%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сусідко М.М. Районування території України за ступенем гідрологічної небезпеки / М.М. Сусідко, О.І. Лук'янець // *Наук. праці УкрНДГМІ.* – Вип. 253. – 2004. – С. 196–204.
2. Сусідко М.М. Надзвичайно високі повені в басейні Прип'яті / М.М. Сусідко // *Наукові праці УНДГМІ.* – 2006. – Вип. 255. – С. 279–282.
3. Авакян А.Б. Наводнення. Концепция защиты / А.Б. Авакян // *Известия РАН. Серия географическая.* – 2000. – № 5. – С. 40–46.
4. Истомина М.Н. Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия наводнений / М.Н. Истомина, А.Г. Кочарян, И.П. Лебедева // *Водные ресурсы.* – 2005. – Т. 32. – № 4. – С. 1–10.
5. Предупреждение и смягчение последствий природных катастроф // *Бюллетень ВМО.* – 2006. – Т. 55 (1). – 67 с.
6. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, О.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К.: Наукова думка, 2008. – 544 с.
7. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. – 591 с.
8. Environmental experience gained from reservoirs in operation. *Trans. of the 18-th Int. Congress on Large Dams.* – Vol. 2. – Q.69. Durban-South Africa, November, 1994. – 780 p.
9. Виссмен У. мл. Введение в гидрологию / У. Виссмен мл., Т.И. Харбаф, Д.У. Кнэпп. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 470 с.
10. Железняков Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Под ред. Г.В. Железнякова. – М.: Колос. – 1984. – 205 с.
11. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
12. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. – К.: Азимут-Україна, 2009. – 104 с.
13. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Метод прогнозирования максимальных гидрологических характеристик / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк // *Мониторинг. Наука и безопасность.* № 4 (12), 2013. – С. 98–107.

14. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Використання нечіткої міри для подолання невизначеності довгострокових прогнозів на основі екстраполяцій / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. № 4. – С. 99–110.
15. Стефанишин Д.В. Про використання законів Гумбеля типу I та Пірсона типу III при прогнозуванні максимальних витрат води / Д.В. Стефанишин // Гідротехніка. Збірник наукових праць. Вип. 1 (1). – Рівне: НУВГП, 2014. – С. 12–18.
16. Тихонов А.Н. Регуляризирующие алгоритмы и априорная информация / А.Н. Тихонов, А.В. Гончарский и др. – М: Наука, 1983. – 198 с.
17. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1981. – 487 с.
18. Stefanyshyn D.V. A Method of Forecasting of Indexes of Dynamic System that evolves slowly, based on Time Series Analysis / D.V. Stefanyshyn // Proc. of 4th Int. Conf. on Inductive Modelling. Kyiv, Ukraine, September 16–20, 2013. – P.P. 221–224.

Стаття надійшла до редакції 22.04.2015