

УДК 004.9:556.16

ІНФОРМАЦІЙНИЙ МОДУЛЬ ОБРОБКИ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО РІВНІ ПАВОДКОВИХ ВОД

кандидат технічних наук, Клапоущак О.І.,
кандидат технічних наук, доцент, Штаєр Л.О.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
Україна, Івано-Франківськ

Проведено аналіз сучасного стану проблеми прогнозування паводкових процесів. Наведено алгоритм прогнозування рівня паводкових вод на основі спостережень за розвитком паводкових явищ. Стаття містить результати розроблення алгоритму та інформаційного модулю в програмному середовищі R, який дозволяє здійснити збір статистичної інформації та побудову математичної моделі зміни рівня паводкових вод для реалізації методу прогнозування рівня паводкових вод за даними про минулі паводки на обраній річці. Розроблений модуль застосований при пошуку та побудові апроксимаційних кривих паводкових процесів з використанням статистичних даних про рівні води за даними з автоматичних гідропостів Українського гідрометеорологічного центру. Одержані результати підтвердили адекватність розробки.

Ключові слова: паводкові води, метод прогнозування, рівень води, апроксимація, адекватність моделі.

кандидат технических наук, Клапоущак О.И., кандидат технических наук, доцент Штаер Л.Е. Информационный модуль обработки статистической информации об уровнях паводковых вод / Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, Ивано-Франковск

Проведен анализ современного состояния проблемы прогнозирования паводковых процессов. Представлен алгоритм прогнозирования уровня паводковых вод на основании данных наблюдений за развитием паводковых явлений. Статья содержит результаты разработки алгоритма и информационного модуля в программной среде R, который позволяет осуществить сбор статистической информации и построение математической модели изменения уровня паводковых вод для реализации метода прогнозирования уровня паводковых вод по данным о прошлых паводках на выбранной реке. Разработанный модуль применен при поиске и построении аппроксимационных кривых паводковых процессов с использованием статистических данных об уровнях воды по данным автоматических гидростов Украинского гидрометеорологического центра. Полученные результаты

підтвердили адекватність розробки.

Ключевые слова: паводковые воды, метод прогнозирования, уровень воды, аппроксимация, адекватность модели.

Ph.D., Klapoushchak O.I., Ph.D., associate professor Shtaier L.O. Software Unit for Processing Statistical Information on Flood Water Level / Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, Ivano-Frankivsk

The analysis of the current state of the problem of flood forecasting is given. An algorithm of forecasting water levels based on observing data in the flood period is shown. The article contains the results of algorithm and software unit development in software environment R. The unit allows collecting statistical information and constructing the mathematical model of forecasting water levels for implementation the method of forecasting water levels based on statistics of previous floods in the selected river. Designed unit is used in finding and constructing approximating curves in flood period using statistical data on water levels based on the data of Ukrainian Hydrometeorological center. The experimental studies have confirmed the adequacy of the model.

Key words: flood water, forecasting method, water level, approximation, adequacy model.

Вступ. Негативні наслідки від паводків (короткочасне підвищення рівня води в потоці до піку, з якого рівень води відступає з повільнішими темпами) проявляються на 27 % території України, де проживає майже третина населення. Населення і економіка країни зазнають при цьому значних збитків. Найбільшої шкоди від паводків зазнають гірські та передгірські райони Карпат [1, с. 9-10], де ріки є гірськими, з швидкою течією, з переважно дощовим живленням. Паводки і повені на них бувають в період літніх дощів. Інші ріки – рівнинного типу, переважно з сніговим живленням. Паводки і повені на них найчастіше є наслідком весняного танення снігу.

Причинами виникнення паводкових вод є природні фактори, які поділяються на кліматологічні (кількість атмосферних опадів, вологість повітря, температура повітря, висота снігового покриву (метеорологічні)) та частину кліматологічних факторів (гідрологічні), а також антропогенні чинники (руйнування природних стоків, відсутність водосховищ на гірських річках і т.д.).

Відповідно [2, с. 27] методи прогнозування паводкових вод поділяються на: детерміновані, в яких основним фізичним феноменом виникнення паводкових вод вважається проникнення атмосферних опадів у басейн ріки, та ймовірнісні, в яких паводки розглядаються як випадковий (раптовий) потік води, який виникає протягом певного періоду і декілька раз, і може бути прогнозований за допомогою статистичних пакетів.

Аналіз існуючих методів і моделей контролю та прогнозування рівня паводкових вод [3-5] дозволив виділити такі основні їх недоліки: врахування лише одного або двох метеорологічних показників; відсутність взаємозв'язку атмосферних опадів з іншими кліматологічними показниками; неврахування морфометричних характеристик водозборів. Діючі автоматизовані інформаційно-вимірвальні системи (AIBC) володіють такими недоліками: високі економічні затрати на розробку та впровадження в експлуатацію систем та технічних засобів; неналежне фінансування з боку держави не дозволяє створювати достатню кількість AIBC, гідропостів з метою попередження про виникнення паводкових вод [3, с. 101-102]. Саме тому, впровадження дистанційних методів спостережень на гідрологічних постах – прогресивний шлях у вирішенні ряду водогосподарських задач.

З врахуванням вище сказаного, авторами [6, с. 476] розроблено метод прогнозування рівня води в паводковий період на основі інформації про минулі паводки на даній річці. Для реалізації вказаного методу необхідна статистична інформація про розвиток паводку на конкретній водоймі.

Формулювання мети статті та задач. Метою статті є розроблення інформаційного модулю збору та обробки статистичної інформації про рівні води за даними Українського гідрометеорологічного центру, який дасть змогу в складі системи контролю та прогнозування рівня паводкових вод своєчасно надавати достовірну інформацію про стан водних об'єктів та створювати прогноз паводку в цілому.

Розроблення інформаційного модулю потребує вирішення наступних задач: реалізація можливості автоматизованого читання інформації про статистичні дані рівнів води з автоматичних гідрологічних станцій; розроблення алгоритму виявлення початку та завершення паводку; розроблення алгоритму співставлення побудованої апроксимаційної кривої і паводків, які вже мали місце в минулому на даній ділянці річки.

Виклад основного матеріалу статті. Метод прогнозування рівня паводкових вод [6, с. 476] належить до методів екологічного контролю і може знайти застосування в екологічній експертизі при оцінці небезпеки та прогнозуванні дії паводкових вод та розробці математичних методик і систем для проведення прогнозування. Відповідно до класифікації [2, с. 27] він належить до імовірнісних методів.

В основу методу поставлено задачі вибору вагомих метеорологічних і фізико-географічних параметрів водозбору, та, з метою зниження складності формування прогнозу, побудову кривої прогнозу зміни рівня паводкових вод у часі із визначенням

допустимого рівня води рік у точці прогнозу.

Відмінними рисами запропонованого методу, в порівнянні з відомими методами та підходами, є можливість спрогнозувати рівень паводкових вод, врахування водно-фізичних властивостей ґрунтів (водопроникність, вологоємність), метеорологічних даних та геофізичної інформації про водозбори на основі статистичних даних на досліджуваній ділянці.

Метод прогнозування рівня паводкових вод реалізується відповідно до етапів:

1 На основі статистичних даних про декілька паводків, для кожного з них вибираємо N вимірювань рівня (y_i, t_i) , $i = 1, \dots, N$, де y_i – рівень паводкових вод у момент часу t_i ; визначаються характерні параметри $b_{1,2}$ та $c_{1,2}$ (коефіцієнти лінійної регресії) для побудови кривої прогнозу зміни рівня паводкових вод за формулами:

$$b_j = \frac{N \sum \tilde{y}_i \tilde{t}_i - \sum \tilde{y}_i \sum \tilde{t}_i}{N \sum \tilde{t}_i^2 - (\sum \tilde{t}_i)^2}; \quad c_j = \frac{1}{N} (\sum \tilde{y}_i - b_j \sum \tilde{t}_i), \quad (1)$$

де $j = 1, 2$; $\tilde{y}_i = y_i$ – рівень паводкових вод у момент часу t_i ; $\tilde{t}_i = y_i(t_i - t_0)^2$, t_0 – час, при якому зафіксований максимальний рівень паводкових вод.

2 Побудова апроксимуючої кривої для кожного з паводків проводиться на основі формули:

$$f_i = \frac{c_j}{b_j \cdot (t_i - t_0)^2 + 1}, \quad j = 1, 2, \quad (2)$$

де c_j , b_j – коефіцієнти за формулою (1), що знаходяться за методом найменших квадратів до моменту $t = t_0$, який відповідає піку паводку ($j = 1$), та після пікового моменту ($j = 2$).

3 На основі побудованих апроксимуючих кривих про формування двох і більше паводків визначається момент початку паводку за статистичними даними про мінімальний приріст рівня паводкових вод та атмосферних опадів (базові значення) і тривалість паводку.

4 З використанням даних АІВС у реальному часі здійснюється збір даних про рівень паводкових вод та кількість атмосферних опадів (а також інших визначених вагомих факторів [6, с. 476]). Проводиться аналіз приросту рівня паводкових вод та кількості атмосферних опадів (вагомих факторів). Якщо для даного об'єкту значення більші/рівні за базові, то проводиться прогнозування:

4.1 за прогнозованими метеорологічними даними про вагомі фактори розвитку обчислюється критерій відповідності j^* для кожного з минулих паводків:

$$\arg \min_i \left\{ \sum (x_k^i - x_k^p)^2 \right\} = j^*, \quad (3)$$

де x_k^p – прогнозовані значення вагомих факторів ($k = 1, \dots, M_0$), M_0 – кількість вагомих факторів; x_k^i – статистичні дані про k -ий вагомий фактор, які були характерні для i -го паводку, що спостерігався на даній території.

4.2 крива прогнозу відповідає мінімальному значенню j^* .

Прогнозування рівня паводкових вод за наведеною методикою полягає у визначенні прогнозованого рівня паводкових вод на інтервал часу, а врахування допустимого рівня води ріки в точці прогнозу дозволяє визначити досягнення рівня корінних берегів (перший рівень захисту паводків).

Розроблений в роботі інформаційний модуль передбачає можливість автоматизованого читання інформації про статистичні дані рівнів води з автоматичних гідрологічних станцій України з офіційного інформаційного серверу Українського гідрометеорологічного центру (режим доступу: <http://hydro.meteo.gov.ua/>) та обробку завантажених даних з метою виявлення паводкових процесів та побудову апроксимаційних кривих, що описують вказані процеси (пункти 1-3 наведеного вище алгоритму прогнозування).

Розроблення інформаційного модулю збору та обробки статистичної інформації реалізовано в середовищі програмування R, яке орієнтоване на статистичні розрахунки, написання різного роду програм обробки, аналізу даних та представлення результатів в графічному вигляді. Для динамічного налаштування і демонстрації результатів широкому загалу застосовано пакет Shiny (фреймворк для швидкої розробки web-додатків). З використанням вказаного пакету розроблено web-орієнтований інформаційний модуль (рис. 1), який дозволяє вибирати в якості параметрів гідрологічний пост та період спостереження за рівнями води, які зафіксовані автоматичними гідрологічними станціями.

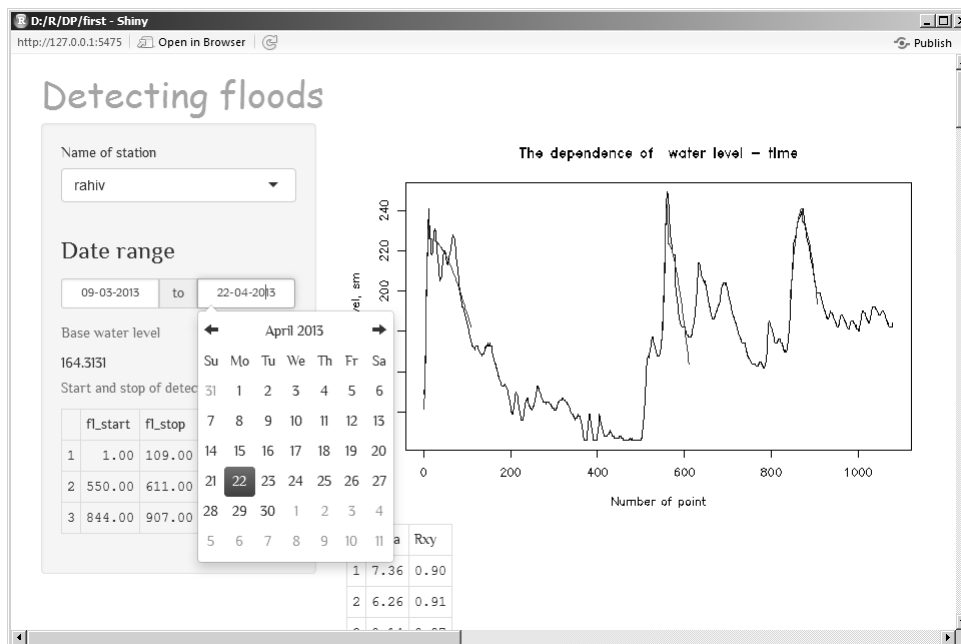


Рис. 1. Вікно програми

Алгоритм роботи модуля включає наступні етапи.

1 Завантаження даних з сайту Українського гідрометеорологічного центру: реалізовано з використанням пакету XML, функції якого дозволяють перетворити html в об'єкт, який далі можна розбивати на частини засобами R з використанням мови запитів до елементів XML-документа XPath.

2 Аналіз та обробка невизначених елементів (NA): деякі комірки таблиці даних рівнів води, які завантажуються з сайту <http://hydro.meteo.gov.ua/> можуть бути пропущені, тому здійснюється перевірка елементів таблиці на невизначені елементи (NA) та заміна їх значень на середні з відомих значень про рівні води за попередній і наступний відомі періоди. За наявності послідовно відсутніх елементів таблиці проводиться лінійна інтерполяція значень.

3 Пошук початку та завершення паводку: алгоритм знаходження точки початку паводку полягає в формуванні вектору першої похідної з кроком 1 (відповідає періоду збору даних з сайту – 1 год.). Також обчислюються додаткові вектори для індикації наявності декілька підряд рівнів збільшення та зменшення похідної (монотонне зростання та спадання рівня води). Критерій визначення точки, яка може бути початком паводку – монотонне зростання рівня в 4-х точках; критерій визначення точки, яка може бути точкою завершення паводку – монотонне спадання в 2-х точках.

Визначається базовий рівень води для обраного інтервалу спостереження: усереднюються всі значення точок, які за похідною входять в діапазон від -1 до 1. Такий спосіб встановлення базового рівня зумовлений тим, що паводок – це аномальний період підняття води, тому для встановлення базового рівня конкретної водойми

враховуються тільки ті точки, де рівень води тримався на одному рівні. Графічні залежності встановлення початку/завершення паводків наведено на рис. 2. Формування векторів початку та завершення паводку проводиться за одночасного виконання наступних умов: перевищення базового рівня води та приріст більше ніж 4 см значення вектора похідної (початок) або перевищення базового рівня води та спад на 3 см значення вектора похідної (завершення паводку) (рис. 2, в, г).

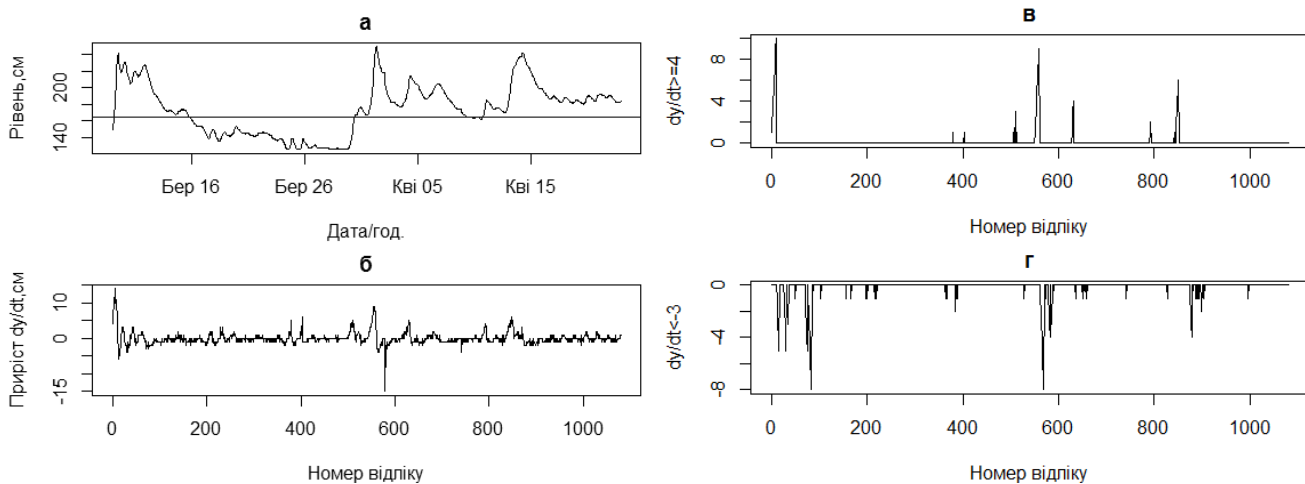


Рис. 2. Пошук початку та завершення паводку: а – рівень води за період; б – вектор похідної; в – індикація початку, г – індикація завершення паводку

Далі зі сформованих векторів вилучаються ті відліки, які йдуть послідовно, узгоджується їх довжина та виконання умови про те, що відлік початку паводку є меншим за відлік завершення паводку (на рис. 3 горизонтальна лінія – базовий рівень води, вертикальні суцільні лінії – початок підняття, а вертикальні штрихові – завершення спаду води).

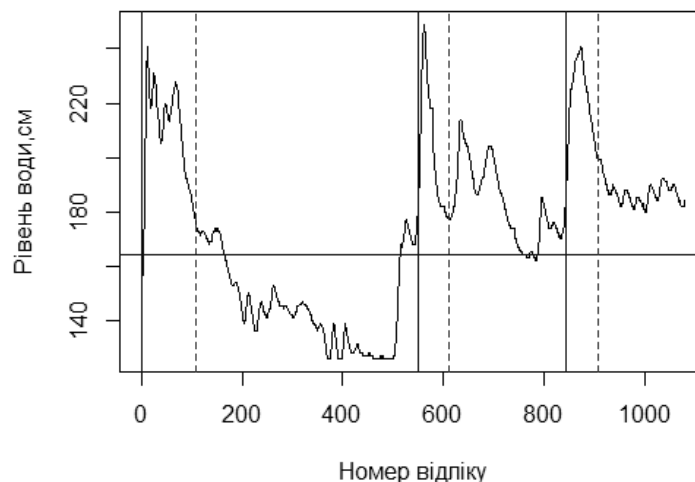


Рис. 3. Визначення початку та завершення паводку на досліджуваному інтервалі часу

4 Нормування статистичних даних: для узагальнення одержаної інформації про зміну рівня води (оцінка можливого підняття рівня води над поточним рівнем) в паводковий період проводиться нормування рівнів шляхом ділення даних у визначені періоди на рівень, який був характерний для моменту початку паводку (рис. 4).

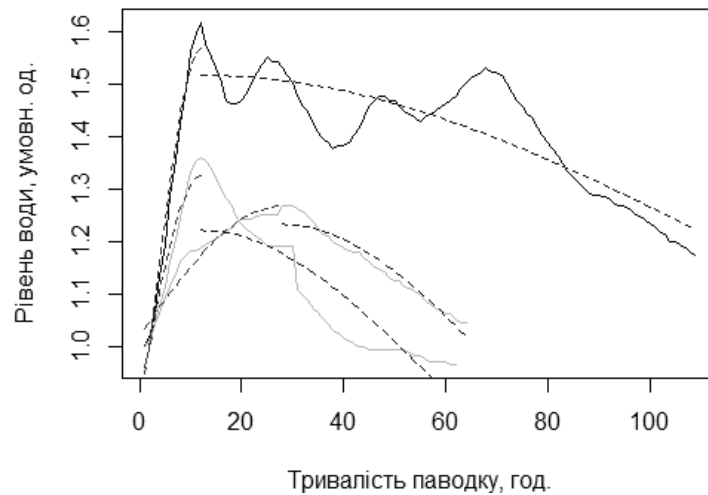


Рис. 4. Нормування статистичних даних про динаміку рівня води за різні інтервали часу

5 Побудова апроксимаційних кривих: математична модель (1)-(2), за якою проводиться апроксимація зібраних статистичних даних, розбиває експериментальні дані на дві частини за часом максимального підйому води та будує апроксимаційну криву на кожному з інтервалів, що забезпечує вищий ступінь наближення кривої прогнозу та статистичних даних [6, с. 475].

6 Оцінка адекватності побудованих статистичних моделей: адекватність побудованих кривих оцінюється за двома показниками:

– коефіцієнтом кореляції, який обчислюється за статистичними даними відповідно для кожного паводку y_i та кривою, яка побудована за допомогою апроксимації f_i :

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (4)$$

де \bar{f} , \bar{y} - математичні очікування, m - довжина векторів f та y , $i = 1, \dots, m$;

– максимальною величиною відхилення статистичних даних і даних, які прогнозовані за апроксимаційною кривою.

За статистичними даними про рівні води, які зареєстровані автоматичною гідрологічною станцією на пості Рахів-Тиса в період 09.03 – 22.04.2013 рр., побудовано апроксимаційні криві (на рис. 4 відповідні криві позначено штриховими). Встановлено, що коефіцієнт

кореляції для трьох виявлених періодів підняття води становить 0,9 – 0,97, що говорить про високий ступінь відповідності побудованих апроксимаційних кривих статистичним даним. Максимальне відхилення між експериментальними даними та прогнозованою моделлю (рис. 4) становить на першому інтервалі 7,3 см, на другому – 6 см, а на третьому взагалі відсутнє. Визначені відхилення знаходяться в коридорі сезонних коливань, які є допустимими в прогнозуванні.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В роботі розроблено та реалізовано чисельний алгоритм збору та обробки статистичних даних про рівні паводкових вод та побудову, на основі одержаної інформації, апроксимуючих кривих, які дозволяють сформулювати прогноз на величину підняття води в паводковий період. Зібрані статистичні дані дають можливість побудувати математичну модель розвитку паводку та проводити подальші дослідження із встановлення ступеню впливу метеорологічних факторів на формування паводку. Подальші дослідження будуть направлені на розроблення алгоритму врахування вагомих факторів, що впливають та розвиток паводку, та встановлення відповідності певному виду паводку за прогнозованими метеоумовами на обраній ділянці водойми.

Література:

1. Адаменко О.М. Про причини та можливості попередження й зниження катастрофічних наслідків регіональних паводків у західному регіоні України. / О.М. Адаменко // *Природа Західного Полісся та прилеглих територій*. – 2009. – №6. – С. 9-16.
2. Ward R.C. *Floods: A Geographical Perspective (Focal Problems in Geography)* / R.C. Ward – London: Macmillan, 1978. – 244 p.
3. Заміховський Л.М. Аналіз методів і систем контролю та прогнозування рівня паводкових вод / Л.М. Заміховський, О.І. Клапоущак // *Нафтогазова енергетика*. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – Вип. 2(15) – С. 99 – 105.
4. *Manual on flood forecasting and warning* // World Meteorological Organization. – Switzerland: WMO. – 2011. – No. 1072 – 142 p.
5. Шуфнарович М.А. Інтелектуальна система прийняття рішень при прогнозуванні повеней / М.А. Шуфнарович, М.І. Горбійчук // *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції аспірантів, молодих вчених і студентів, м. Івано-Франківськ, 8 – 11 жовтня 2013 р.* – Івано-Франківськ, 2013 – С.178-180.
6. Zamikhovskii L.M. *The flood process mathematical modelling an their prediction methods based on static data* / L.M. Zamikhovskii, A.P. Oliinyk, O. I. Klapoushchak, L.O. Shtaiyer // *Life Science Journal*. – 2014. – №11(8s). – pp. 473-477.

References:

1. Adamenko O.M. *The Reasons and Possibilities of Preventing and Reducing Regional Catastrophic Floods in Western Ukraine.* / O. M. Adamenko // *Pryroda Zaxidnoho Polissja ta prylehlykh terytorij.* – 2009. – №6. – S. 9-16.
2. Ward R.C. *Floods: A Geographical Perspective (Focal Problems in Geography)* / R.C. Ward – London: Macmillan, 1978. – 244 p.
3. Zamixovskij, L.M. *Analysis of methods and systems for monitoring and forecasting of flood water* / L.M. Zamixovskij, O.I. Klapoushchak // *Naftohazova enerhetyka.* – Ivano-Frankivsk: IFNTUOG. – 2011. – Issue 2(15) – S. 99 – 105.
4. *Manual on flood forecasting and warning* // World Meteorological Organization. – Switzerland: WMO. – 2011. – No. 1072 – 142 p.
5. Shufnarovych M.A. *Intelligent system of decision-making in forecasting floods* / M.A. Shufnarovych, M.I. Gorbijchuk // *Informacijni texnologiji v osviti, texnici ta promyslovosti: Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferencii aspirantiv, molodykh uchenykh i studentiv, Ivano-Frankivsk, October 8 – 11, 2013.* – Ivano-Frankivsk, 2013 – S. 178-180.
6. Zamikhovskii L.M. *The flood process mathematical modelling an their prediction methods based on static data* / L.M. Zamikhovskii, A.P. Oliinyk, O. I. Klapoushchak, L.O. Shtaiyer // *Life Science Journal.* – 2014. – №11(8s). – pp. 473-477.