

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2022.63.336-348>

УДК 911:114]:528.8:556.53(477)

**Кондратюк Анатолій Вікторович,**

*аспірант кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру*

*Волинський національний університет ім. Лесі Українки*

[tolya-swer7@ukr.net](mailto:tolya-swer7@ukr.net)

<https://orcid.org/0000-0001-9755-4664>

## **ГЕОПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКУ ПОВЕНЕЙ РІЧКИ ПРИП'ЯТЬ В МЕЖАХ ВОДОМІРНОГО ПОСТА ЛЮБ'ЯЗЬ**

Анотація: проаналізовано геопросторове моделювання ризику повеней річки Прип'ять в межах водомірного поста Люб'язь. Використаний метод ансамблю, який продемонстрував ефективність моделювання паводків на основі геоінформаційних систем (ГІС).

Представлено основні приклади використання методів моделювання повеней.

Проаналізовано світовий досвід методів моделювання паводків та їх застосування для відновлення просторів в структурі населеного пункту.

Визначено їх системоутворюючі особливості та типологічні ознаки в межах водомірного поста Люб'язь.

Традиційна система методів моделювання паводків в структурі населеного пункту складається з двох основних елементів: прогнозування та моделювання і створення прогнозних карт ймовірності повеней.

Карта небезпеки повеней була створена шляхом поєднання карти ймовірності повені з факторами, що викликають повінь.

Побудовано карти ймовірності повені за методом ансамблю на основі ГІС у межах водомірного поста Люб'язь.

Ключові слова: моделювання; оцінка ризику повені; річка; карта ймовірностей повені; водомірний пост; ГІС.

**Постановка проблеми.** Аналіз ризику повені та пом'якшення ризику є двома компонентами управління ризиком повені. Аналіз ризику повені має на меті дослідити, де ризик виникнення повені є неприпустимо високим, а де необхідні дії щодо зменшення ризику. Таким чином, комплексний аналіз ризику повеней шляхом виявлення небезпечних і ризикованих територій є важливою частиною управління ризиками для оцінки суми збитків, які можуть виникнути внаслідок повеней [14].

В Україні та за кордоном вже розроблено чимало математичних моделей, які описують річкові процеси та зміни якості річкових вод [1].

За останні кілька десятиліть були розроблені та використані численні методи для дослідження небезпеки повеней та оцінки ризику. Ці методи включають процес аналітичної ієрархії (АНР), нечітку логіку та генетичні алгоритми, нечітку теорію змінних, системи гідрологічного прогнозування, штучну нейронну мережу (ANN), логістична регресія, аналітичний мережевий процес (ANP), статистичний індекс, ентропія Шеннона та моделі співвідношення частот, двовимірний статистичний метод (моделі FR). і

**Метою дослідження** є побудова прогнозних моделей карт ймовірності повені за методом ансамблю на основі ГІС у межах в межах водомірного поста Люб'язь на період з 2022 до 2023 року на основі офіційних статистичних даних р. Прип'ять.

Для досягнення означеної мети виконуються **завдання**, що передбачають аналіз об'єктів населеного пункту в межах водомірного поста Люб'язь, визначення їх системоутворюючих особливостей та типологічних ознак.

**Об'єктом дослідження** виступає прогнозна модель карт ймовірності повені, що створюється з метою попередження повені як системоутворюючий елемент моделювання.

**Предмет дослідження** становлять особливості формування прогнозної моделі карт ймовірності повені як системоутворюючих елементів моделювання з метою відновлення простору населеного пункту в структурі населеного пункту.

**Новизна дослідження** полягає у вивченні світового досвіду формування прогнозної моделі карт ймовірності повені як системоутворюючих елементів моделювання.

**Матеріали і методи дослідження** двовимірний статистичний метод (FR) був застосований у цьому дослідженні, моделі FR були успішно застосовані для оцінки сприйнятливості та вразливості до повеней. Модель FR вважається одним із найважливіших методів, який легко застосувати і може забезпечити прийнятний аналіз ризиків і картування.

**Основна частина.** Об'єкт дослідження – р. Прип'ять протікає в межах Львівської, Волинської та Рівненської областей України, а також Білорусі, вона є правою притокою річки Прип'ять, що відноситься до водозбірного басейну Дніпра. Розміщення 3 пікетів в межах водомірного поста Люб'язь на території Волинської області зображено на рис. 1.



Рис. 1. Розміщення опорних створів на р. Прип'ять

Цифрами на карті позначено опорні створи: 1 – ПК577; 2 – ПК740; 3 – ПК847.

Спочатку з ЦМР була взята карта напрямку потоку, з якої була окреслена межа вододілу за допомогою інструменту гідрологічного басейну. Далі була розрахована довжина основної річки та відстань вище за течією, використовуючи параметр довжини потоку в інструменті гідрології. Далі був розрахований ухил басейну за допомогою інструменту на основі растрових поверхонь у відсотках. Потім за допомогою зонального статистичного аналізу було виділено середнє значення.

Останніми роками дослідниками було запропоновано багато просторових методів для нанесення на карту небезпеки повеней і зон ризику для просторового окреслення територій, схильних до повеней. Для побудови моделі оцінки небезпеки повеней потрібен набір параметрів, пов'язаних із повенями. На точність і якість методів може вплинути спосіб використання точної бази даних ГІС [3]. Тому фактори, що сприяють паводку, повинні бути оптимізовані для покращення результатів.

ЦМР було створено з знімків взятих із сайту <https://earthexplorer.usgs.gov/> за допомогою програмного продукту QGIS 3.18 які були зроблені в 2022 році. Отже, всі фактори топографічної карти, такі як висота, нахил, аспект, кривизна, індекс перенесення наносів (STI), індекс топографічної вологості (TWI) були отримані від DEM.

Кожен топографічний параметр, пов'язаний із виникненням повеней у будь-якій місцевості, витягується безпосередньо з ЦМР. Таким чином, дуже точна ЦМР є важливою.

SPI і TWI – це параметри, пов'язані з водою, які розраховуються за формулами 1 і 2:

$$SPI = As \times \tan \beta \quad (1)$$

$$TWI = \ln \times As / \tan \beta \quad (2)$$

де  $As$  – питома площа водозбору, а  $\beta$  – місцевий градієнт схилу, вимірний у градусах [11].

Коефіцієнт SPI вказує на ерозійну силу водного потоку. TWI представляє вплив топографії на генерацію стоку та кількість накопичення потоку в будь-якому місці водозбору річки.

Ризик повені, як правило, представляється як продукт небезпеки та вразливості навколишнього середовища. Модель просторової небезпеки була створена в середовищі ГІС з використанням комбінації карти ймовірностей, отриманої з моделі ансамблю. Карта ризиків також була створена шляхом інтеграції карт небезпек і вразливості, щоб відобразити рівні ризику повені на території дослідження. Щоб застосувати комплексну модель на основі ГІС для моделювання небезпеки повені, кожен фактор кондиціонування був класифікований за допомогою квантильного методу як вимога моделювання FR. Потім була застосована модель FR, і кожне значення FR було присвоєно кожному класу обумовлюючих факторів. Кожен шар, пов'язаний з повені, був побудований в QGIS 3.18.

Серед двовимірних статистичних моделей модель FR вважається одним із найважливіших методів, який легко застосувати і може забезпечити прийнятний аналіз ризиків і картування. Відповідно, FR було обрано з набору двовимірних статистичних методів для цього дослідження. Результати, отримані з цієї моделі, легко інтерпретувати.

FR — двовимірний статистичний метод, який може розглядати кореляцію між залежними факторами (історичні точки затоплення) та незалежними факторами (фактори, що викликають повінь). Моделі FR були успішно застосовані для оцінки сприйнятливості та вразливості до повеней у різних регіонах світу, схильних до повеней.

Необхідно визначити фактори, що сприяють повені, щоб оцінити ймовірність повені протягом певного часу та в конкретному середовищі. Застосування методу FR як одного з підходів, заснованих на ГІС, може суттєво

сприяти визначенню впливу кожного параметра, пов'язаного з повені, на події повеней у зоні дослідження [16].

На основі детального аналізу в межах розрахункової ділянки р. Прип'ять намічено 3 опорних створа, по яких побудовано поперечні перерізи. Місцерозташування цих опорних створів приведено на рис. 1.

Максимальні витрати весняної повені в розрахункових створах зведені в загальну відомість табл. 1.

**Таблиця 1. Максимальні витрати весняної повені в розрахункових створах**

№ п/п	Місцезнаходження створу	Площа водозбору	Витрата, Q, м <sup>3</sup> /с				
			1%	5%	10%	25%	50%
1	Вище гирла р. Стохід ПК577	7327	520	353	286	187	109
2	в/п Люб'язь ПК740	6070	430	292	236	155	90
3	Вище гирла р. Цир ПК847	5962	423	288	233	152	88

Криві витрат в опорних створах побудовані з використанням фактичних даних про похил, рівні та витрати і результатів відповідних гідравлічних розрахунків. Графіки кривих витрат приведені нижче на рис. 3,4,5.

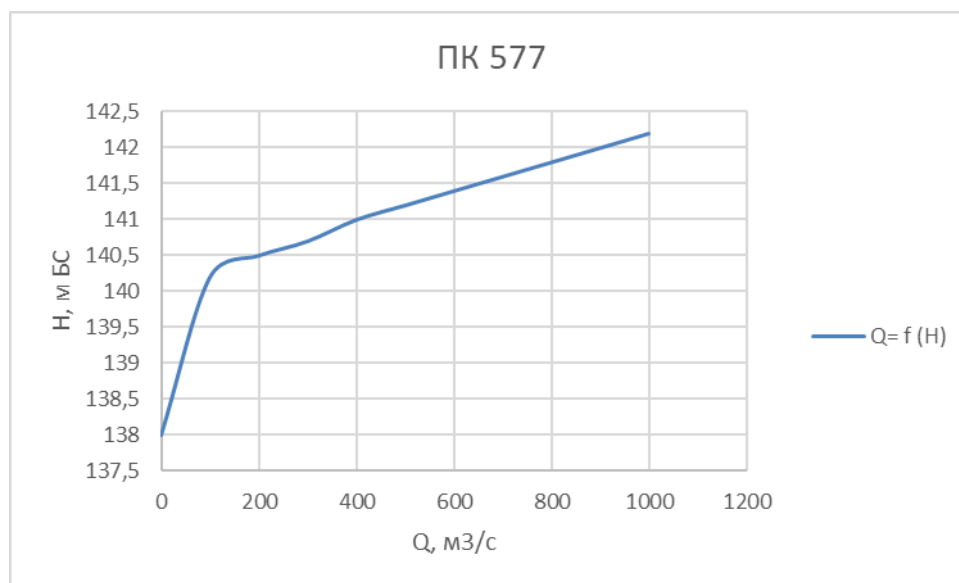


Рис. 3. Крива витрат р. Прип'ять ПК577

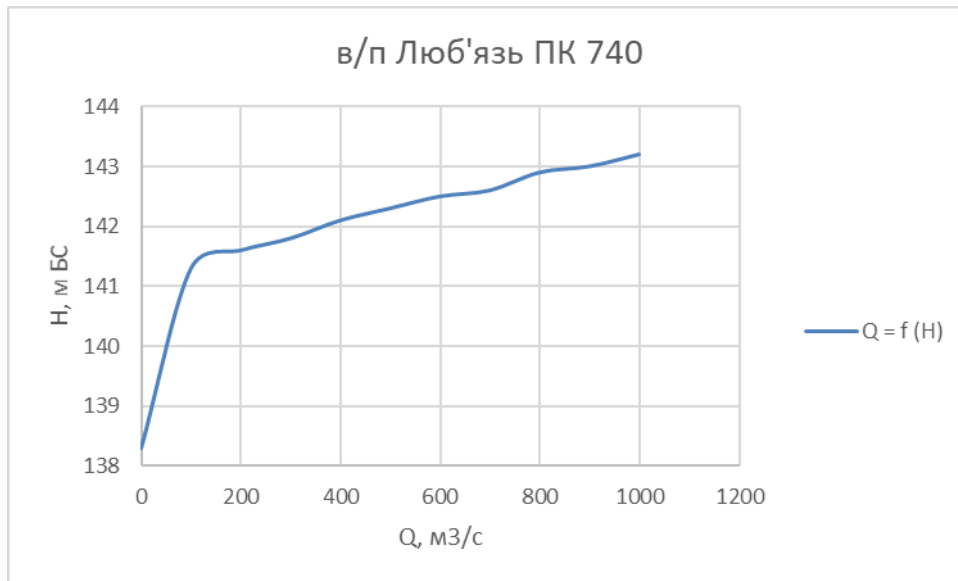


Рис. 4. Крива витрат р. Прип'ять в/п Люб'язь ПК740

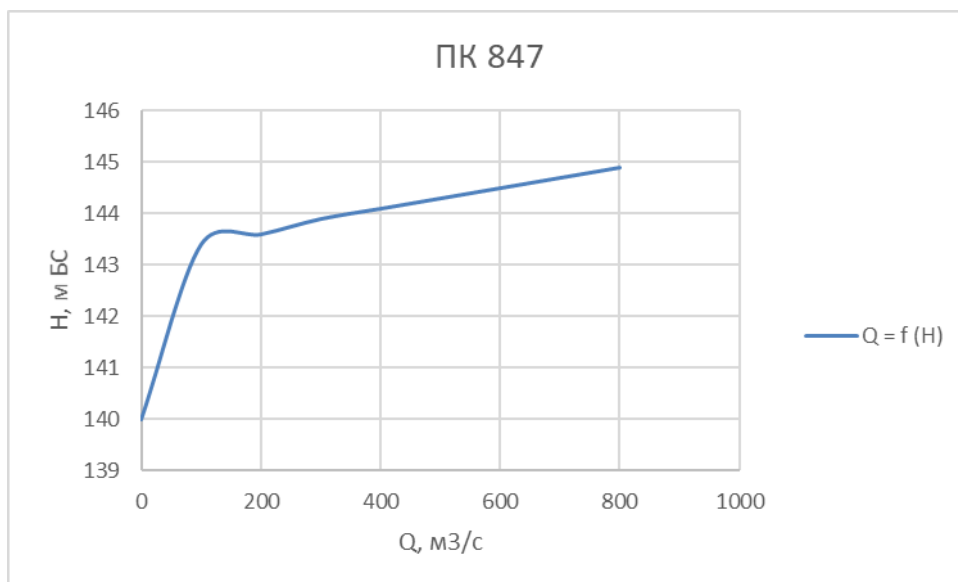


Рис. 5. Крива витрат р. Прип'ять ПК847

У роботі використовувались такі дані взяті з офіційних джерел з сайту Українського гідрометеорологічного центру (<http://hydro.meteo.gov.ua/>) дані автоматичної гідрологічної станції Люб'язь-Прип'ять. Далі подається таблиця 2 максимальних рівнів води та підтоплення, які будуть при такому рівні води.



**Таблиця 2. Максимальні рівні води та підтоплення на водості Люб'язь**

Рік	Мах рівні води, м	0 поста, м	Підтоплення, м
1999	3,83	138,3	142,13
2013	3,82	138,3	142,12
2014	3,01	138,3	141,31
2015	3,08	138,3	141,38
2016	3	138,3	141,3
2017	2,75	138,3	141,05
2018	1,81	138,3	140,11
2019	1,79	138,3	140,09
2021	2,44	138,3	140,74

В таблиці 3 та 4 подані площі підтоплень на опорних створах.

**Таблиця 3. Площі підтоплень на опорних створах при мах рівнях**

№ п/п	Місцезнаходження створу	Площа підтоплення, кв.м	Площа підтоплення, га	Угіддя, які зазнають підтоплення
1	Вище гирла р. Стохід ПК577	1,23	123,1	Заболочені території, сіножаті, пасовища
2	в/п Люб'язь ПК740	1,009	100,9	Заболочені території, сіножаті, пасовища
3	Вище гирла р. Цир ПК847	0,899	89,9	Заболочені території, сіножаті, пасовища

**Таблиця 4. Площі підтоплення на опорних створах при міні рівнях**

№ п/п	Місцезнаходження створу	Площа підтоплення, кв.м	Площа підтоплення, га	Угіддя, які зазнають підтоплення
1	Вище гирла р. Стохід ПК577	0,97	97,0	Заболочені території, сіножаті, пасовища
2	в/п Люб'язь ПК740	0,89	89,0	Заболочені території, сіножаті, пасовища
3	Вище гирла р. Цир ПК847	0,75	75,0	Заболочені території, сіножаті, пасовища

На рис. 6-8 показані карти ймовірності повені, створена з моделі ансамблю FR. Найбільша вірогідність виникнення повені розташована в регіонах з найменшою висотою і напрямком виходу басейну.

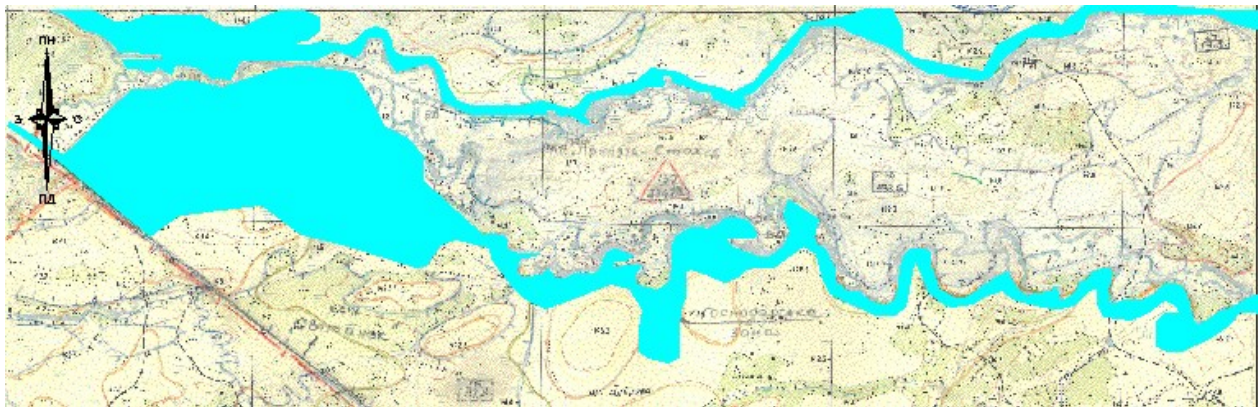


Рис. 6. Карта ймовірності затоплення річки Прип'ять в межах ПК577  
Блакитним кольором на карті позначено: межі підтоплення при тих рівнях води





Рис. 7. Карта ймовірності затоплення річки Прип'ять в межах водомірного поста Люб'язь

Блакитним кольором на карті позначено: межі підтоплень при тах рівнях води

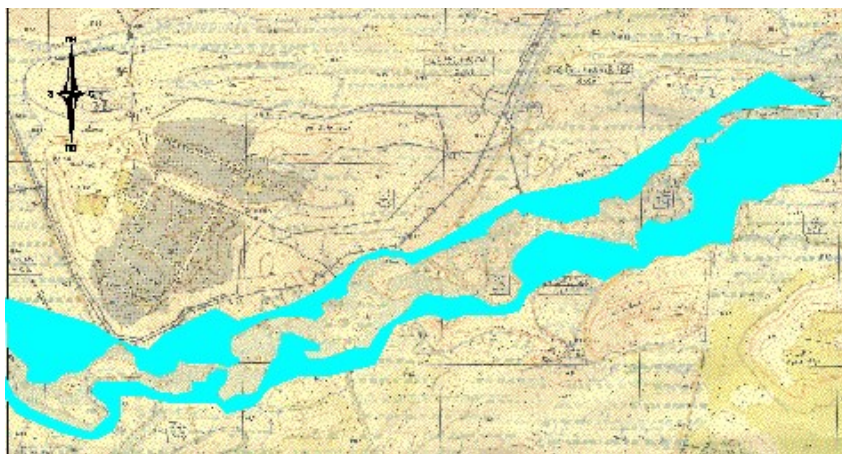


Рис. 8. Карта ймовірності затоплення річки Прип'ять ПК847

Блакитним кольором на карті позначено: межі підтоплень при тах рівнях води

Аналізуючи дані отримані з дослідження, найбільші площі підтоплень будуть спостерігатися на опорному створі ПК577, найменша – на опорному створі ПК847. Найбільше зазнають підтоплень заболочені землі, сіножаті та пасовища, які прилягають до річки Прип'ять.

### **Висновки**

Повінь – серйозна та катастрофічна подія, яка може статися практично будь-де. Тому контроль за наслідками повені є вирішальним і може здійснюватися за допомогою картування небезпеки та ризику повені. Необхідно визначити зони, схильні до повені, щоб передбачити та проаналізувати просторовий розподіл належного управління повенями в майбутньому. Дослідження вказує на те, що для визначення територій, схильних до повені, застосовувалися різні методи та методика. У поточному дослідженні комплексний метод FR на основі ГІС був використаний для картування

небезпеки повеней досліджуваної території вздовж водомірного поста Люб'язь, а місце розташування досліджуваної території дуже сприйнятливим до виникнення повеней. Основною метою цього дослідження було остаточне створення карти рівня ризику на основі індексів небезпеки та вразливості. Отже, ансамблевий метод FR може бути ефективно використаний у дослідженнях небезпеки повеней через його просту структуру та надійну роботу. Таким чином, кожна індексна карта, отримана в результаті цього дослідження, може бути корисною для планувальників і осіб, які приймають рішення щодо управління повенями та планування на території дослідження.

#### Список джерел

1. Кондратюк А.В., Моделювання і прогнозування стану забруднення поверхневих вод річки Стир. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. К. : КНУБА, 2021. Вип. 61. С. 395–409. Випуск 61. 2021. DOI: 10.32347/2077-3455.2021.61.395-409.
2. Akgun A, Dag S, Bulut F. 2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environ Geol.* 54:1127–1143. DOI: 10.1007/s00254-007-0882-8.
3. Althuwaynee OF, Pradhan B, Lee S. 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. *Comput Geosci.* 44:120–135. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.03.003.
4. Apel H, Aronica GT, Kreibich H, Thielen AH. 2008. Flood risk analyses – how detailed do we need to be? *Nat Hazards.* 49:79–98. DOI: 10.1007/s11069-008-9277-8.
5. Ayalew L, Yamagishi H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology.* 65:15–31. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.06.010.
6. Botzen WJW, Aerts JCJH, van den Bergh JCJM. 2012. Individual preferences for reducing flood risk to near zero through elevation. *Mitig Adapt Strateg Glob Change.* 2:229–244. DOI: 10.1007/s11027-012-9359-5.
7. Casulli, V. 2009. A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. *Int J Numerical Methods Fluids.* 60:391–408.
8. Chau KW, Wu CL, Li YS. 2005. Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. *J Hydrol Eng.* 10: 485–491. DOI: 10.1061/(asce)1084-0699(2005)10:6(485).
9. Choi J, Oh HJ, Won JS, Lee S. 2009. Validation of an artificial neural network model for landslide susceptibility mapping. *Environ Earth Sci.* 60:473–483. DOI: 10.1007/s12665-009-0188-0.

10. Gokceoglu C, Sonmez H, Nefeslioglu HA, Duman TY, Can T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Eng Geol.* 81:65–83. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.07.011
11. Kar AK, Lohani AK, Goel NK, Roy GP. 2015. Rain gauge network design for flood forecasting using multi-criteria decision analysis and clustering techniques in lower Mahanadi river basin, India. *J Hydrol: Reg Stud.* 4:313–332. DOI: 10.1016/j.ejrh.2015.07.003.
12. Kia MB, Pirasteh S, Pradhan B, Mahmud AR, Sulaiman WNA, Moradi A. 2011. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environ Earth Sci.* 67:251–264. DOI: 10.1007/s12665-011-1504-z.
13. Lee MJ, Kang J, Jeon S. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. DOI: 10.1109/igarss.2012.6351414.
14. Meyer V, Scheuer S, Haase D. 2008. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Nat Hazards.* 48:17–39. DOI: 10.1007/s11069-008-9244-4.
15. Moore ID, Wilson JP. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *J Soil Water Conserv.* 47:423–428.
16. Neshat A, Pradhan B. 2015. An integrated DRASTIC model using frequency ratio and two new hybrid methods for groundwater vulnerability assessment. *Nat Hazards.* 76:543–563.
17. Pradhan B. 2010. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *J Spatial Hydrol.* 9:1–18.
18. Tingsanchali T, Karim F. 2010. Flood-hazard assessment and risk-based zoning of a tropical flood plain: case study of the Yom River, Thailand. *Hydrol Sci J.* 55:145–161. DOI: 10.1080/02626660903545987.
19. Zhou J, Deng W, Zou Q, Xiao J, Zhang Y, Hua W. 2013. Flood disaster evaluation model based on kernel dual optimization support vector machine. *Information Technol J.* 12:2412–2418. DOI: 10.3923/itj.2013.2412.2418.

#### References

1. Kondratiuk A.V. (2021) Modeling and forecasting of the status of surface water pollution of the styr river. [Modelyuvannia i prohnouzuvannia stany zabrudnennia poverhnevuh vod richku Styr] Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannia, Vyp(№)61, P-p.395-409 DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.395-409> (in Ukrainian).

2. Akgun A, Dag S, Bulut F. 2007. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environ Geol.* 54:1127–1143. DOI: 10.1007/s00254-007-0882-8 (in English).
3. Althuwaynee OF, Pradhan B, Lee S. 2012. Application of an evidential belief function model in landslide susceptibility mapping. *Comput Geosci.* 44:120–135. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.03.003 (in English).
4. Apel H, Aronica GT, Kreibich H, Thielen AH. 2008. Flood risk analyses – how detailed do we need to be? *Nat Hazards.* 49:79–98. DOI: 10.1007/s11069-008-9277-8 (in English).
5. Ayalew L, Yamagishi H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology.* 65:15–31. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.06.010 (in English).
6. Botzen WJW, Aerts JCJH, van den Bergh JCJM. 2012. Individual preferences for reducing flood risk to near zero through elevation. *Mitig Adapt Strateg Glob Change.* 2:229–244. DOI: 10.1007/s11027-012-9359-5 (in English).
7. Casulli, V. 2009. A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. *Int J Numerical Methods Fluids.* 60:391–408 (in English).
8. Chau KW, Wu CL, Li YS. 2005. Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. *J Hydrol Eng.* 10: 485–491. DOI: 10.1061/(asce)1084-0699(2005)10:6(485) (in English).
9. Choi J, Oh HJ, Won JS, Lee S. 2009. Validation of an artificial neural network model for landslide susceptibility mapping. *Environ Earth Sci.* 60:473–483. DOI: 10.1007/s12665-009-0188-0 (in English).
10. Gokceoglu C, Sonmez H, Nefeslioglu HA, Duman TY, Can T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Eng Geol.* 81:65–83. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.07.011 (in English).
11. Kar AK, Lohani AK, Goel NK, Roy GP. 2015. Rain gauge network design for flood forecasting using multi-criteria decision analysis and clustering techniques in lower Mahanadi river basin, India. *J Hydrol: Reg Stud.* 4:313–332. DOI: 10.1016/j.ejrh.2015.07.003 (in English).
12. Kia MB, Pirasteh S, Pradhan B, Mahmud AR, Sulaiman WNA, Moradi A. 2011. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environ Earth Sci.* 67:251–264. DOI: 10.1007/s12665-011-1504-z (in English).
13. Lee MJ, Kang J, Jeon S. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. 2012 IEEE

International Geoscience and Remote Sensing Symposium. DOI: 10.1109/igarss.2012.6351414 (in English).

14. Meyer V, Scheuer S, Haase D. 2008. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Nat Hazards*. 48:17–39. DOI: 10.1007/s11069-008-9244-4 (in English).

15. Moore ID, Wilson JP. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. *J Soil Water Conserv*. 47:423–428 (in English).

16. Neshat A, Pradhan B. 2015. An integrated DRASTIC model using frequency ratio and two new hybrid methods for groundwater vulnerability assessment. *Nat Hazards*. 76:543–563 (in English).

17. Pradhan B. 2010. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *J Spatial Hydrol*. 9:1–18 (in English).

18. Tingsanchali T, Karim F. 2010. Flood-hazard assessment and risk-based zoning of a tropical flood plain: case study of the Yom River, Thailand. *Hydrol Sci J*. 55:145–161. DOI: 10.1080/02626660903545987 (in English).

19. Zhou J, Deng W, Zou Q, Xiao J, Zhang Y, Hua W. 2013. Flood disaster evaluation model based on kernel dual optimization support vector machine. *Information Technol J*. 12:2412–2418. DOI: 10.3923/itj.2013.2412.2418 (in English).

#### Abstract

**Kondratiuk Anatolii**, post-graduate student of the Department of Geodesy, Land Management and Cadastre Lesya Ukrainka Volyn National University.

#### **Geospatial modeling of the flood risk of the Pripyat river within the Lyubyaz**

Geospatial modeling of the flood risk of the Pripyat river within the Lyubyaz water meter post is analyzed. An ensemble method was used, which demonstrated the effectiveness of flood modeling based on geographic information systems (GIS). The main examples of using flood modeling methods are presented.

The world experience of flood modeling methods and their application for restoration of spaces in the structure of the settlement is analyzed.

Their system-forming features and typological features have been determined within the Lyubyaz water meter post. The traditional system of flood modeling methods in the structure of the settlement consists of two main elements, they are forecasting and modeling and creation of forecast maps of flood probability. The flood hazard map was created by combining the flood probability map with the flood-causing factors. Flood probability maps have been constructed using the GIS-based ensemble method within the Lyubyaz water meter post.

Keywords: modeling; flood risk assessment; river; flood probability map; mapping; GIS.