

## БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.395-409>

УДК 556.53(447):502.51(28)

**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>

### МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ СТИР

Анотація: проаналізовано основні джерела забруднення поверхневих вод річки Стир, розглянуто математичні моделі, що описують зміну значень хімічних та бактеріологічних показників якості річкових вод, обґрунтовано наслідки впливу неочищених чи недоочищених стічних вод, що скидаються до річки на якість води в ній, на основі геоінформаційних систем (ГІС) побудовано прогнозні моделі стану забруднення поверхневих вод річки Стир на п'ять станцій спостережень у межах Волинської та Рівненської областей на період з 2000 до 2022 року; доведено достатність періодичного моніторингу забруднення поверхневих вод для прогнозування їх якісного стану.

Ключові слова: моделювання; прогнозування стану забруднення; річка; поверхневі води; основні забруднювачі; картографування; ГІС.

**Постановка проблеми.** Річки є важливим джерелом забезпечення життєдіяльності людини, сільськогосподарських та промислових потреб. Зниження якості річкової води іноді виникає внаслідок природних процесів, однак значно частіше внаслідок антропогенної діяльності, зокрема через скидання промислових стоків, побутових стічних вод та міських стічних вод, неточкових сільськогосподарських стоків. Промисловий і побутовий стік стічних вод, а також сільськогосподарські стоки з полів становлять значний відсоток у забрудненні річок [3]. В останні десятиліття ефективним інструментом управління стічними водами, а отже і прийняття рішень є ГІС, оскільки вона значно спрощує обробку значних за обсягами геопросторових і атрибутивних даних [2]. Застосування ГІС забезпечує інтеграцію карт для визначення місць потенційного забруднення та географічну індикацію забруднення в різних частинах річки.

Розробка та впровадження математичних моделей в Україні дозволить покращити якість моніторингу води в річках та полегшить її подальший контроль під час практичного водокористування.

Основною проблемою є забруднення водних об'єктів скидами забруднюючих речовин із зворотними водами промислових підприємств та підприємств житлово-комунального господарства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На науковій основі вивченням моніторингу водних ресурсів для прогнозування забруднення поверхневих вод річок займалися такі вітчизняні та іноземні дослідники: Мокін В.Б., Мокін Б.І., Amadi, A. N., Olasehinde, P. I., Okosun, E. A., & Yisa, J., Barakat A, El Baghdadi M, Rais J, Aghezzaf B, Slassi M., Bartram, J., & Balance, R., Dutta V., Eluozo, S. N., Furlan A, Galeazzo A, Paggiaro A., He B, Dai M, Zhai W, Guo X, Wang L., Huffmeyer, N., Klasmeier, J., & Matthies, M., Kumar P, Kaushal RK, Nigam AK., Le TTH, Zeunert S, Lorenz M, Meon G., Lorenz M, Prilop K, Thang MT, Le H, Hieu ND, Meon G, Quan NH., Sorche NL, McDermott G, O'Boyle S, Wilkes R, Stengel DB., Singh KP, Malik A, Sinha S., Tashtoush SM, Al-Subh SA., Wang Y, Wang P, Bai Y, Tian Z, Li J, Shao X, Li BL. [1-19].

**Метою публікації** є побудова прогнозних моделей стану забруднення поверхневих вод річки Стир на основі офіційних статистичних даних та прогнозування стану її забруднення на 5 ключових її ділянках.

**Основна частина.** Об'єкт дослідження – р. Стир 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 5 станцій спостереження на території Волинської та Рівненської областей зображено на рис. 1.

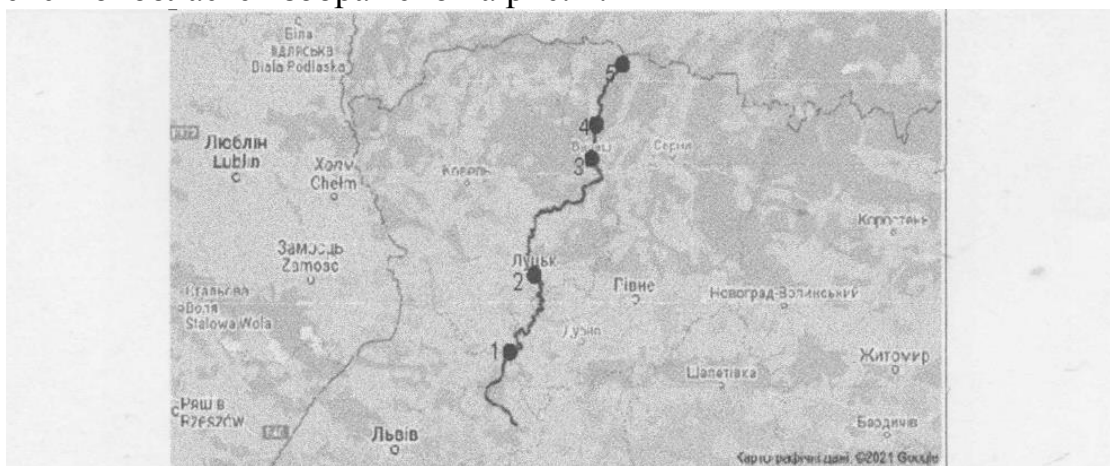


Рис. 1. Розміщення станцій спостереження на р. Стир

Цифрами на карті позначено станції спостереження: 1 – 411 км, с. Вербень, кордон Рівненської і Волинської областей; 2 – 308 км, м. Луцьк, питний в/з міста; 3 – 183 км, м. Вараш (Кузнецовськ), водозабір РАЕС; 4 – 152 км, с. Сопачів, нижче РАЕС; 5 – 48 км, смт. Зарічне, кордон з Білоруссю.

Розміщення гідрологічного поста в м. Луцьк та його зовнішній вигляд показано на рис. 2-3.



Рис. 2. Розміщення гідрологічного поста 2 (308 км, м. Луцьк, взято з відкритих джерел)



Рис. 3. Загальний вигляд гідрологічного поста 2 (308 км, м. Луцьк, взято з відкритих джерел)

Відбір проб для цілей даного дослідження проводився на усіх п'ятьох станціях, розташованих в кожній точці скидання стічних вод вздовж русла річки Стир на території Волинської та Рівненської областей.

Пропорційний за часом відбір проб стічних вод проводився чотири рази протягом періоду дослідження з інтервалом в два місяці з січня 2000 року по грудень 2020 року в усіх п'ятьох точках. Відбір проб проводився в точці турбулентного потоку поруч з точками виходу дренажів в денний час з 10:00 до 16:00 з використанням простого ручного пристрою для відбору проб.

Дослідження річкових процесів завжди проводиться насамперед з метою вивчення їх впливу на якість річкової води. Якість води є головною характеристикою річок в аналізі їх екологічного стану та з точки зору водокористування. Водокористування є невід'ємною частиною людського життя. Зокрема, це водовідбір питної води і води, необхідної для господарських цілей, використання води для рекреаційних цілей та для розведення риби, використання річок як приймачів стічних вод тощо.

Одним з основних способів, які допомагають вирішувати проблеми, що пов'язані з якістю річкових вод, є математичне моделювання. Побудувавши математичну модель динаміки якості річкової води, можна визначити ступінь та глибину її очищення, відповідність нормам питного та господарського використання. Можна визначити, також, якість води у будь-якій точці річки в будь-який момент часу та розробити комплекс заходів, що необхідні для приведення цієї якості у відповідність до рекреаційних або рибогосподарських вимог. На основі моделі можна прогнозувати наслідки впливу неочищених чи недоочищених стічних вод, які скидаються до річки, на якість води в ній.

У даному дослідженні моделювання вмісту різних забруднюючих речовин в місцях скидання стічних вод, оцінка навантаження забруднюючих речовин, що скидаються в річку Стир і визначення показників відносного забруднення різних ділянок річки Стир нижче за течією до кожної точки скидання було виконано за допомогою QGIS 3.20.0 'Odense'.

Збільшення антропогенного навантаження на навколишнє середовище одночасно з підвищенням вимог до якості річкових вод обумовлюють актуальність проблеми, котра розглядається.

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

Дані про витрату в стічних водах річки Стир, що необхідні для розрахунку питомого навантаження забруднюючих речовин, були отримані з офіційного сайту Державного агентства водних ресурсів України (табл. 1).

Згідно Державних стандартів найбільша увага приділяється вимірюванню фізико-хімічних та бактеріологічних показників якості води, що є визначальними і забезпечують достатню якість прогнозування.

Розглянемо основні річкові процеси, під час дії яких може змінюватись ступінь забруднення води – зменшуватись чи збільшуватись значення відповідних фізико-хімічних та бактеріологічних показників її якості.

### Витрати стічних вод річки Стир (2000-2020 рр.)

Таблиця 1

Дата	Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	Біохімічне споживання кисню за 5 діб, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Завислі (суспендовані) речовини, мг/дм <sup>3</sup>	Кисень розчинений, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	Нітриг-іони, мг/дм <sup>3</sup>	Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	Фосфат-іони (поліфосфати), мг/дм <sup>3</sup>	Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>
2000	0,39	2,29	16,25	10,27	4,08	0,06	21,39	0,17	17,00
2001	0,39	2,05	14,91	9,99	4,00	0,05	20,59	0,21	16,07
2002	0,37	2,20	19,01	10,03	4,52	0,09	24,29	0,16	16,72
2003	0,48	1,98	14,72	9,99	3,44	0,06	25,46	0,14	15,10
2004	0,39	1,78	9,20	9,56	4,59	0,05	36,61	0,17	16,85
2005	0,31	1,67	5,83	9,76	4,76	0,09	35,30	0,24	17,41
2006	0,35	2,10	18,25	9,76	6,76	0,07	31,22	0,18	16,18
2007	0,36	3,03	13,89	9,82	4,43	0,38	23,76	0,13	11,83
2008	0,36	3,03	13,89	9,82	4,43	0,38	23,76	0,13	11,83
2009	0,35	2,39	10,00	11,65	1,92	0,07	46,29	0,02	17,73
2010	0,29	1,59	16,77	8,82	2,66	0,06	28,64	0,06	18,07
2011	0,44	2,12	7,07	9,03	3,57	0,14	26,68	0,05	14,95
2012	0,29	2,42	4,90	8,42	3,30	0,09	24,21	0,25	17,96
2013	0,44	3,02	4,05	9,12	2,59	0,04	25,36	0,60	17,88
2014	0,20	3,26	3,51	9,45	6,09	0,14	20,67	0,29	16,48
2015	0,26	4,24	5,27	9,64	4,68	0,10	21,87	0,26	21,73
2016	0,50	3,82	4,16	8,55	2,02	0,12	25,27	0,23	20,18
2017	0,43	4,60	4,94	8,52	1,71	0,12	25,85	0,30	25,24
2018	0,63	3,38	5,17	7,32	2,22	0,07	24,26	0,35	21,59
2019	0,37	2,39	9,20	9,64	4,00	0,09	25,27	0,18	17,00
2020	0,38	2,67	10,05	9,46	3,79	0,11	26,84	0,21	17,39

Розглянемо основні річкові процеси, що впливають на зміну ступеня забруднення води – зменшення чи збільшення значень відповідних фізико-хімічних та бактеріологічних показників її якості. Зокрема, розглянемо процеси, що впливають на зміну таких хімічних показників якості води,

зменшення значень яких означає зменшення ступеня забруднення річкової води.

Розглянемо найбільш поширені як в Україні, так і за її межами математичні моделі, що описують зміну значень хімічних та бактеріологічних показників якості річкових вод. Для простоти обмежимося моделюванням якості води в середніх та малих рівнинних річках, в яких розподіл значень показників якості води в глибину та в ширину є відносно однорідним і в першому наближенні може повністю характеризуватись значенням показників в одній опосередкованій точці поперечного перерізу річки.

Більшість відомих моделей за кількістю та характером процесів, які враховуються, можна поділити на три типи: моделі, що враховують лише процеси розбавлення вод; моделі, що враховують процеси самоочищення річки, але без урахування процесів розбавлення; моделі розбавлення, що враховують процеси з урахуванням процесів самоочищення. В процесі дослідження використовувались моделі першого типу.

Серед моделей першого типу найбільш поширеною є модель В.А. Фролова – Д. Родзиллера для консервативних речовин, тобто речовин, які не вступають в хімічні реакції

$$\frac{dx(t)}{dt} = F_1(t) \times [x(t) - x_{cp}(t)], x(0) = x_0 \quad (1)$$

де  $x(t)$  - значення концентрації речовини в річковій воді;  $t$  - час;  $x_{cp}(t)$  - середнє значення  $x(t)$  в створі повного змішування;  $F_1(t)$  - деяка нелінійна функція, вигляд якої виведений В.А. Фроловим на основі аналізу розмірностей і характеризує зменшення концентрації  $x$  за рахунок процесів розбавлення.

Дана модель описує зміни значення показника  $x$  в часі  $t$ , але на практиці її використовують для опису його зміни в просторі – вздовж осі  $Z$ . Така інваріантність пов'язана з тим, що модель (1) описує окремий об'єм річкового потоку, який переміщується вздовж осі  $Z$  зі швидкістю течії річки  $v$  і для якого

$$Z = v \times t \quad (2),$$

а тому за час  $t$  даний об'єм річкової води переміститься на відстань  $v \times t$  в напрямку течії річки і навпаки, щоб переміститись на відстань  $Z$ , йому потрібний час  $Z/v$ .

Інший підхід використовується в моделях, що засновані на диференціальному рівнянні другого порядку в частинних похідних, у якому зміна значення  $x$  моделюється як в часі  $t$ , так і в просторі  $z$ .

Прикладами таких моделей є моделі В.М. Маккавеева, А.В. Караушева, А.М. Айтсама, Х.А. Вельнера, Л.Л. Паалу, М.А. Бесценної, М.А. Руффель та інших. Наприклад, для однієї просторової координати  $z$  пропонується модель

$$-\frac{\partial x(t, z)}{\partial t} = -\delta \times \frac{\partial^2 x(t, z)}{\partial z^2} + \nu \times \frac{\partial x(t, z)}{\partial z} \quad (3)$$

з початковими та граничними умовами

$$x(0, z) = x_0(z), x(t, 0) = a(t), x(t, L) = b(t) \quad (4)$$

де  $\delta$  - коефіцієнт турбулентної дифузії;  $L$  - довжина ділянки річки, що моделюється;  $x_0(z)$  - залежність значень  $x$  від координати  $z$  в межах ділянки моделювання в початковий момент часу;  $a(t)$  і  $b(t)$  - залежність значень  $x$  від часу  $t$  на вході ( $z = 0$ ) і на виході ( $z = L$ ) ділянки моделювання, відповідно.

Головним недоліком моделей першого типу є те, що вони можуть застосовуватися для опису динаміки концентрацій лише консервативних хімічних речовин, враховуючи тільки один основний фізичний чинник – розбавлення (розповсюдження та перемішування). Крім цього, основним недоліком моделі Фролова є невідповідність динаміки реальних процесів розбавлення експоненціальному закону, а моделі Маккавеева та інших – необхідність збору додаткової інформації, зокрема значень функцій  $a(t)$ ,  $b(t)$  та  $x_0(z)$  [1].

Через велику різницю в мінімальних або максисмальних значень значний вплив мають середні концентрації різних параметрів.

Отже, в нашому випадку, процес моделювання можна виконувати не за трьома просторовими координатами, а лише за однією –  $z$ , вісь якої спрямована вздовж напрямку течії опосередкованого річкового потоку.

На рис. 4–8 наведено прогностичні діаграми стану забруднення поверхневих вод на 2021-2022 роки на 5 станціях спостереження річки Стир.

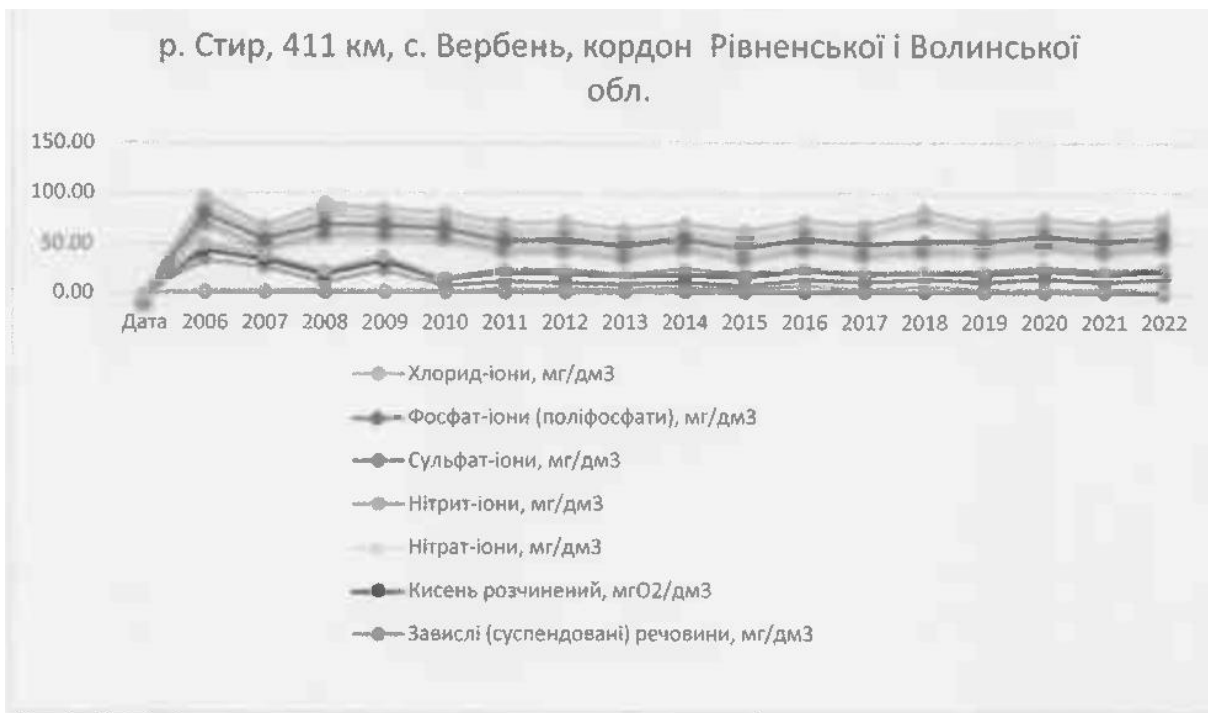


Рис. 4. Забруднення поверхневих вод річки Стир у 2000-2022 роках (станція спостереження 1 – 411 км, с. Вербень)



Рис. 5. Забруднення поверхневих вод річки Стир у 2000-2022 роках (станція спостереження 2 – 308 км, м. Луцьк)



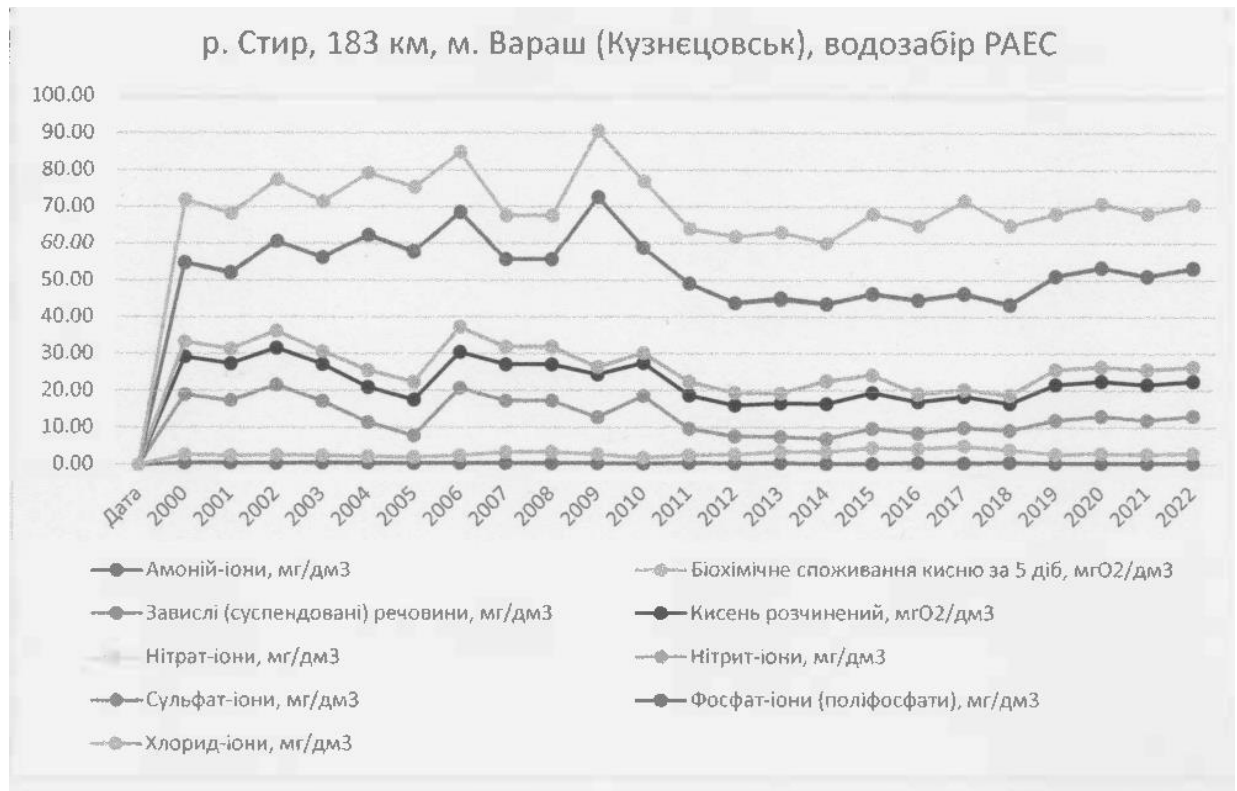


Рис. 6. Забруднення поверхневих вод річки Стир у 2000-2022 роках (станція спостереження 3 – 183 км, м. Вараш)

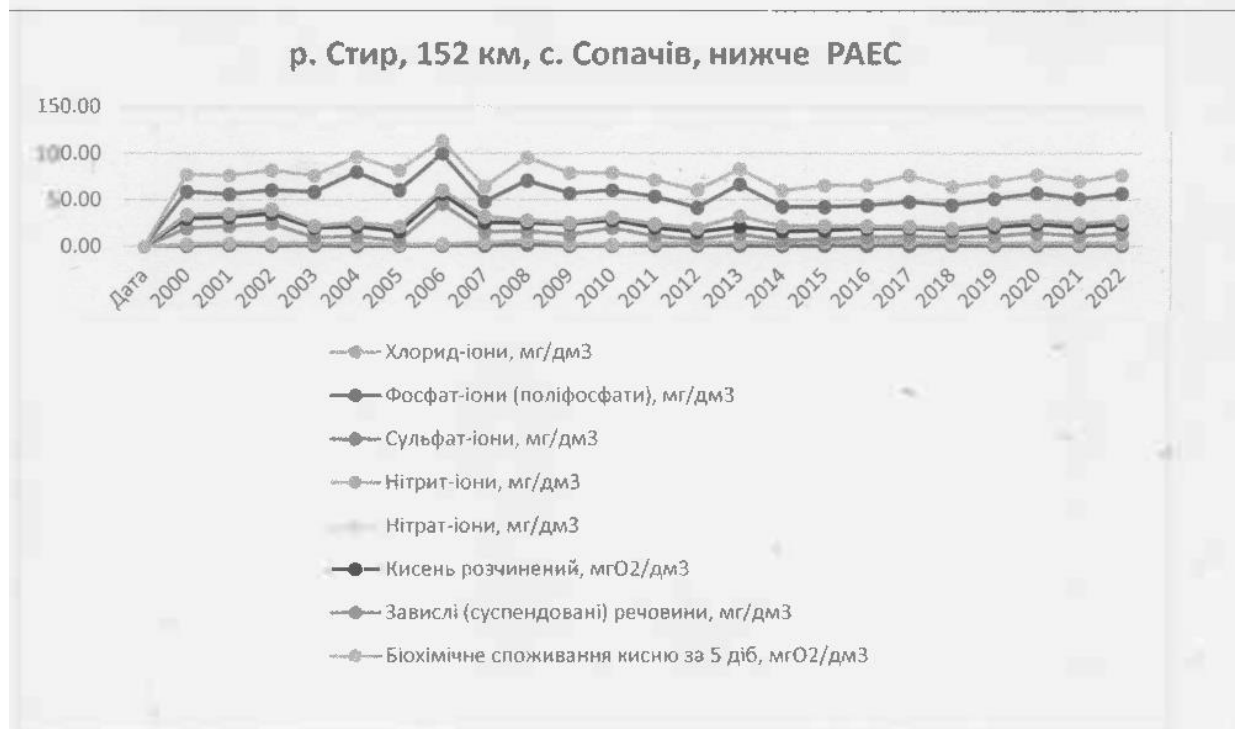


Рис. 7. Забруднення поверхневих вод річки Стир у 2000-2022 роках (станція спостереження 4 – 152 км, с. Сопачів)



Аналізуючи отримані прогнозні діаграми (рис. 4-8), можна стверджувати, що в період 2021-2022 років найбільші забруднення поверхневих вод річки Стир будуть спостерігатись на станціях спостережень 2, 3 і 4.

На станції спостереження 2, 3 та 4 спостерігається перевищення вмісту показників речовин: хлоридів та поліфосфатів.

На основі аналізу діаграм (рис. 4-8) можна стверджувати, що використання математичних моделей першого типу є досить важливим для ефективного аналізу складних даних про якість води та отримання результатів для оптимізації моніторингу забруднення річки Стир.

### Висновки

Для моніторингу малих річок, таких як р. Стир, короткочасний моніторинг, а також усі природні поточні заходи, зокрема гальмування нітрифікації, забезпечення азотистих та вуглецевих біохімічних потреб у кисні, регулювання рівня осаду повинні враховуватися одночасно. Виконані дослідження показали доцільність та ефективність циклічних спостережень якості води.

У даному дослідженні було застосовано методи математичного моделювання і прогнозування забруднення річок та на його основі побудовано прогнозні діаграми на 2021–2022 роки. Отримані прогнозні моделі можуть слугувати для оптимізації інженерно-економічного контролю.

Таким чином, доцільно залучати ГІС-програми та математичне моделювання в процес прийняття екологічних рішень для ефективної оцінки впливу на навколишнє середовище.

#### Список джерел

1. Мокін В.Б., Мокін Б.І. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод. — В.: Універсум-Вінниця, 2000. — 152 с.
2. Amadi, A. N., & Olasehinde, P. I., Okosun, E. A., & Yisa, J. Assessment of the water quality index of Otamiri and Ora-miriukwa Rivers. *Physics International*, 1(2), 2010, 116 – 123.
3. Barakat A, El Baghdadi M, Rais J, Aghezzaf B, Slassi M. Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *J Soil Water Conserv* 4, 2016, 284–292
4. Bajpayee S, Das R, Ruj B, Adhikari K, Chatterjee PK. Assessment by multivariate statistical analysis of ground water geochemical data of Bankura, India. *Int J Environ Sci* 3, 2012, 870
5. Bartram, J., & Balance, R. *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. London, UK: UNEP/ WHO, 1996.
6. Dutta V, Sharma U, Iqbal K, Kumar R, Pathak AK. Impact of river channelization and riverfront development on fluvial habitat: evidence from Gomti River, a tributary of Ganges, India. *Environ Sustain* 1(2), 2018, 167–184
7. Eluozo, S. N. Modelling the transport of streptococci on heterogeneous coarse sand influenced by porosity and permeability in coastal area of degema. *ARPN Journal of Earth Sciences*, 1(2), 2012, 52-56.
8. Furlan A, Galeazzo A, Paggiaro A. Organizational and perceived learning in the workplace: a multilevel perspective on employees' problem solving. *Organ Sci* 30(2), 2019, 280–297
9. He B, Dai M, Zhai W, Guo X, Wang L. Hypoxia in the upper reaches of the Pearl River Estuary and its maintenance mechanisms: a synthesis based on multiple year observations during 2000–2008. *Mar Chem* 167, 2014, 13–24
10. Huffmeyer, N., Klasmeier, J., & Matthies, M. Geo-referenced modeling of zinc concentrations in the Ruhr river basin (Germany) using the model GREAT-ER. *Science of the Total Environment*, 407(7), 2009, 2296-2305
11. Kumar P, Kaushal RK, Nigam AK. Assessment and management of Ganga river water quality using multivariate statistical techniques in India. *Asian J Water Environ Pollut* 12, 2015, 61–69

12. Le TTH, Zeunert S, Lorenz M, Meon G. Multivariate statistical assessment of a polluted river under nitrification inhibition in the tropics. *Environ Sci Pollut Res* 24(15), 2017, 13845–13862
13. Lorenz M, Prilop K, Thang MT, Le H, Hieu ND, Meon G, Quan NH. Ecohydrological modelling of the Thi Vai catchment in South Vietnam. In: 2014 EWATEC-COAST: Technologies for environmental and water protection of coastal zones in Vietnam. Contributions to 4th international conference for environment and natural resources, ICENR, 2014, 2363–7218
14. Pollution mapping in the urban segment of a tropical river: is water quality index (WQI) enough for a nutrient-polluted river? URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-1083-9>, 2019.
15. Sorche NL, McDermott G, O'Boyle S, Wilkes R, Stengel DB. Decoupling abundance and biomass of phytoplankton communities under different environmental controls: a new multi-metric Index. *Front Marine Sci* 6, 2019, 312
16. Singh KP, Malik A, Sinha S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. *Anal Chim Acta* 538(1–2), 2005, 355–374
17. Singh KP, Malik A, Sinha S, Singh VK, Murthy RC. Estimation of source of heavy metal contamination in sediments of Gomti River (India) using principal component analysis. *Water Air Soil Pollut* 166, 2005, 321–341
18. Tashtoush SM, Al-Subh SA. Interpretation of groundwater quality parameters for springs in Tafileh area in South of Jordan using principal components analysis. *J Environ Sci* 3, 2015, 31–44
19. Wang Y, Wang P, Bai Y, Tian Z, Li J, Shao X, Li BL. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. *J Hydro Environ Res* 7, 2013, 30–40

#### References

1. Mokin V.B., Mokin B.I. (2000). Mathematical models and programs for assessing the quality of river waters. [Matematychni modeli ta program dlja ocinjuvannja jakosti richkovykh wod]. Uiversum-Winnicja, 152. (in Ukrainian).
2. Amadi, A. N., & Olasehinde, P. I., Okosun, E. A., & Yisa, J. (2010). Assessment of the water quality index of Otamiri and Ora-miriukwa Rivers. *Physics International*, 1(2), 116 – 123. (in English).
3. Barakat A, El Baghdadi M, Rais J, Aghezzaf B, Slassi M (2016). Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical techniques. *J Soil Water Conserv* 4:284–292 (in English).

4. Bajpayee S, Das R, Ruj B, Adhikari K, Chatterjee PK (2012). Assessment by multivariate statistical analysis of ground water geochemical data of Bankura, India. *Int J Environ Sci* 3:870. (in English).
5. Bartram, J., & Balance, R. (1996). *Water Quality Monitoring: A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. London, UK: UNEP/ WHO. (in English).
6. Dutta V, Sharma U, Iqbal K, Kumar R, Pathak AK (2018). Impact of river channelization and riverfront development on fluvial habitat: evidence from Gomti River, a tributary of Ganges, India. *Environ Sustain* 1(2):167–184. (in English).
7. Eluozo, S. N. (2012). Modelling the transport of streptococci on heterogeneous coarse sand influenced by porosity and permeability in coastal area of degema. *ARNP Journal of Earth Sciences*, 1(2), 52-56. (in English).
8. Furlan A, Galeazzo A, Paggiaro A (2019). Organizational and perceived learning in the workplace: a multilevel perspective on employees' problem solving. *Organ Sci* 30(2):280–297. (in English).
9. He B, Dai M, Zhai W, Guo X, Wang L (2014). Hypoxia in the upper reaches of the Pearl River Estuary and its maintenance mechanisms: a synthesis based on multiple year observations during 2000–2008. *Mar Chem* 167:13–24. (in English).
10. Huffmeyer, N., Klasmeier, J., & Matthies, M. (2009). Geo-referenced modeling of zinc concentrations in the Ruhr river basin (Germany) using the model GREAT-ER. *Science of the Total Environment*, 407(7), 2296-2305. (in English).
11. Kumar P, Kaushal RK, Nigam AK (2015). Assessment and management of Ganga river water quality using multivariate statistical techniques in India. *Asian J Water Environ Pollut* 12:61–69. (in English).
12. Le TTH, Zeunert S, Lorenz M, Meon G (2017). Multivariate statistical assessment of a polluted river under nitrification inhibition in the tropics. *Environ Sci Pollut Res* 24(15):13845–13862. (in English).
13. Lorenz M, Prilop K, Thang MT, Le H, Hieu ND, Meon G, Quan NH (2014). Ecohydrological modelling of the Thi Vai catchment in South Vietnam. In: 2014 EWATEC-COAST: Technologies for environmental and water protection of coastal zones in Vietnam. Contributions to 4th international conference for environment and natural resources, ICENR, pp 2363–7218. (in English).
14. Pollution mapping in the urban segment of a tropical river: is water quality index (WQI) enough for a nutrient-polluted river? (2019) URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-019-1083-9> (in English).
15. Sorche NL, McDermott G, O'Boyle S, Wilkes R, Stengel DB (2019). Decoupling abundance and biomass of phytoplankton communities under different environmental controls: a new multi-metric Index. *Front Marine Sci* 6:312. (in English).

16. Singh KP, Malik A, Sinha S (2005). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. *Anal Chim Acta* 538(1–2):355–374. (in English).

17. Singh KP, Malik A, Sinha S, Singh VK, Murthy RC (2005b). Estimation of source of heavy metal contamination in sediments of Gomti River (India) using principal component analysis. *Water Air Soil Pollut* 166:321–341. (in English).

18. Tashtoush SM, Al-Subh SA (2015). Interpretation of groundwater quality parameters for springs in Tafileh area in South of Jordan using principal components analysis. *J Environ Sci* 3:31–44. (in English).

19. Wang Y, Wang P, Bai Y, Tian Z, Li J, Shao X, Li BL (2013). Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: a case study of the Songhua River Harbin region, China. *J Hydro Environ Res* 7:30–40. (in English).

#### Аннотация

**Кондратюк Анатолий Викторович**, аспирант кафедры геодезии землеустройства и кадастра Волынский национальный университет им. Леси Украинки.

#### **Моделирование и прогнозирование состояния загрязнения поверхностных вод реки Стырь**

Определены основные источники загрязнения поверхностных вод, рассмотрены математические модели, описывающие изменение значений химических и бактериологических показателей качества речных вод, обоснованно последствия воздействия неочищенных или недоочищенных сточных вод, сбрасываемых в реки на качество воды в ней, на основе ГИС построено прогнозные модели состояния загрязнения поверхностных вод реки Стырь на пяти станциях наблюдений в пределах Волынской и Ровенской областей на период до 2022 года; доказано, что периодический мониторинг загрязнения поверхностных вод является достаточным для качественного прогнозирования их состояния и т. п.

Ключевые слова: моделирование; прогнозирование состояния загрязнения; река; поверхностные воды; основные загрязнители; картографирование; ГИС.

## Annotation

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

**Modeling and forecasting of the status of surface water pollution of the Styr river**

The main sources of surface water pollution are determined, mathematical models describing the change of values of chemical and bacteriological indicators of river water quality are considered, the consequences of influence of untreated or under-treated wastewater discharged into rivers on the quality of water in it are substantiated, predictive models of the state of pollution of surface waters are built on the basis of GIS of the Styr River at five observation stations within the Volyn and Rivne regions for the period up to 2022, it has been proved that periodic monitoring of surface water pollution is sufficient for their qualitative forecasting of their condition, etc.

In recent decades, GIS has been an effective tool for wastewater management and, therefore, more effective decision-making, as it greatly simplifies the processing of large amounts of geospatial and attributive data. The use of GIS provides the integration of maps to identify places of potential pollution and geographical indication of pollution in different parts of the river, downstream to the outlets of wastewater.

Studies of river processes have always been conducted primarily to study their impact on river water quality. Water quality is the main characteristic of rivers in the analysis of their ecological condition and in terms of water use.

Our study emphasizes the feasibility and effectiveness of short-term continuous monthly measurement of water quality and the development of the river index in order to focus management decisions on the gradual improvement of water quality.

In this study, mathematical modeling of river pollution forecasting was used and forecast diagrams for 2021-2022 were constructed. As a result, these data will be an effective environmental decision-making tool for the implementation of optimal engineering controls at points of interest to prevent environmental damage and protect human health.

Key words: modeling; pollution forecasting; river; surface waters; main pollutants; mapping, GIS.