

## ВИБІР ІНДИКАТОРІВ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД РІЧКИ СЛУЧ

*Бєдункова О. О. – д.б.н., професор,*

*Статник І. І. – к.с.-г.н., доцент,*

*Національний університет водного господарства та природокористування,*

*Боярин М. В. – к.геогр.н., доцент,*

*Волинський національний університет імені Лесі Українки,*

*o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua*

Програми моніторингу якості води допомагають зрозуміти різні процеси, пов'язані з якістю води, а також надають інформацію для управління водними ресурсами. Метою наших досліджень було визначення пріоритетних індикаторів моніторингу поверхневих вод басейну річки Случ – найбільшої притоки р. Горинь. При дослідженнях використовували базу даних спостережень за станом поверхневих вод Державного агентства водних ресурсів України (2005–2021 рр.). Екологічну оцінку якості поверхневих вод досліджуваної річки проводили згідно методики за відповідними категоріями. Для оптимізації контролю якості води скористались методикою встановлення коефіцієнту внеску забруднення речовин. Індекси групувались засобом кластерного аналізу. Показники якості поверхневих вод, індекси яких перевищували 6% приймалися за пріоритетні показники моніторингу. Встановлено, що якість поверхневих вод р. Случ відносилась переважно до II класу. Найвищі значення коефіцієнтів внеску забруднення за весь досліджуваний період були виявлені за нітрит-іоном (31,41–50,79%). Помітними виявились коефіцієнти внеску забруднення за показником БСК<sub>5</sub> (11,88–18,55%) у період 2005–2015 рр., а також за сульфатами у період 2016–2021 рр. (16,14%) та за завислими речовинами (2,86–12,46%). Найнижчими виявились коефіцієнти внеску забруднень за хлорид-іонами (менше 1%). Запропоновано проводити аналіз якості води на вміст показників, що мають коефіцієнт внеску до 12% – один раз у рік: хлорид-іони, амоній-іони, кисень розчинений, нітрат-іони, фосфат-іони; показників із коефіцієнтом від 12 до 22% – один раз на шість місяців: БСК<sub>5</sub>, сульфати, завислі речовини; показників із коефіцієнтом більше 22% (пріоритетні) – один раз у квартал: нітрит-іони. Така схема зможе сприяти відмові від більшої кількості змінних на користь збереження більшої кількості ділянок моніторингу та збільшення частоти відбору проб.

Ключові слова: якість поверхневих вод, моніторинг, гідрохімічні показники, забруднення.

**Постановка проблеми.** Програми моніторингу якості води допомагають зрозуміти різні процеси, пов'язані з якістю води, а також надають спеціалістам з водних ресурсів необхідну інформацію для управління водними ресурсами загалом та управління якістю води зокрема. При цьому, моніторинг екологічного стану водних об'єктів – процес доволі складний і вимагає особливих підходів у кожній конкретній ситуації [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що вода є безцінним найважливішим природним ресурсом для сталого розвитку та соціально-економічного зростання будь-якої країни [2]. Поверхневі води є фундаментальним компонентом у промисловості, домашньому господарстві, рибальстві, аквакультурі та сільськогосподарській діяльності, транспорті та середовищі проживання багатьох водних організмів [3]. Незважаючи на своє значення, поверхневі води є менш керованим ресурсом, ніж інші природні ресурси, і стикаються із серйозними перешкодами через багато видів антропогенної діяльності [4]. Через швидку урбанізацію та індустріалізацію поряд з інтенсивною сільськогосподарською діяльністю погіршення якості річкової води стало серйозною проблемою в усьому світі [5].

Забруднювачі існують у різних формах у поверхневих водоймах, і на їх доступність та рухливість у системах поверхневих вод впливають різні фізичні та хімічні процеси. За останні кілька десятиліть кількість корисних інструментів для підтримки управління якістю води неухильно зростає, наприклад, моделі якості води [6]. Проте для запуску моделей потрібен значний обсяг вхідних даних; інакше припущення через недостатність даних призведуть до розбіжності між фактами. Тому, складні бази даних можуть бути спрощені для кращого розуміння якості води [7].

Якість водного об'єкта зазвичай описується сукупністю взаємопов'язаних фізичних, хімічних та біологічних змінних. Якість води може бути визначена в термінах від однієї змінної до сотень з'єднань та багаторозового використання [1]. Це дуже складне питання, оскільки для представлення якості поверхневих вод можна вибирати з безлічі змінних. Багато дослідників визнали, що неможливо виміряти все в навколишньому середовищі і деякі логічні засоби вибору змінних для вимірювання повинні бути частиною кожної інформаційної системи якості води. Результати їх роботи підсумовують, що необхідно розглядати питання скорочення кількості змінних, включених у вибірку, без істотної втрати інформації [8]. Зауважується, що найменша кількість змінних була б простішою і дешевшою для аналізу [9]. Дослідники також зазначають, що залежності або кореляції між різними змінними якості води легше встановити, якщо їх небагато, що заощаджує час та зусилля [10].

Оцінка водних ресурсів вимагає знання та повного розуміння процесів, пов'язаних з кількістю та якістю води. Програми моніторингу якості води допомагають зрозуміти різні процеси, пов'язані з якістю води, а також

надають спеціалістам з водних ресурсів необхідну інформацію для управління водними ресурсами загалом та управління якістю води зокрема [11]. Як частота відбору проб, так і місця відбору проб залежать від контролюваної змінної якості води, тому вибір конкретних змінних, що представляють інтерес, є невід'ємною частиною проектування та подальшої роботи мережі моніторингу якості води [8].

**Формулювання цілей статті.** Метою наших досліджень було визначення пріоритетних індикаторів моніторингу поверхневих вод річки Случ на підставі аналізу багаторічної динаміки якості води за показниками сольового та трофо-сапробіологічного блоків.

**Матеріали і методи дослідження.** Річка Случ є найбільшою притокою річки Горинь. Загальна довжина р. Случ становить 451 кілометрів, площа водозабору 13840 км<sup>2</sup>, падіння русла 183 м. Середній ухил води річки знаходиться на рівні 0,4%. Виток річки знаходиться в межах с. Червоно Случ, на висоті 320 м над рівнем моря. Гирло річки знаходиться на висоті 137 м над рівнем моря з правого берегу р. Горинь, на сотому кілометрі від її витoku. Морфометрія басейну має витягнуту з півдня на північ форму, довжиною 300 км, із середньою найбільшою шириною відповідно 46 км та 110 км. Залісненість басейну становить 17%, заболоченість – 13%. Коефіцієнт густоти річкової мережі дорівнює 0,47 км/км<sup>2</sup>. Русло річки звивисте, подекуди має круті береги з висотами від 20–40 м до 50 м, місцями береги помірно круті, рідше пологі з висотами 5–15 м. Долина сягає ширини 1,5–5,0 км у нижній течії. Заплава двостороння, поросла лучною рослинністю, місцями заболочена.

У дослідженні використано базу даних спостережень за поверхневими водами Держводагентства України з 2005 по 2021 рік, із переліком дев'яти показників хімічного складу води.

Екологічну оцінку якості поверхневих вод досліджуваної річки проводили згідно методики відповідними категоріями [12], що заснована на обчисленні індексів для трьох блоків:  $I_1$  – блок показників сольового складу,  $I_2$  – блок трофо-сапробіологічних (санітарно-гігієнічних) показників та  $I_3$  – блок показників вмісту специфічних речовин токсичної і радіаційної дії. Комплексний екологічний індекс ( $I_e$ ), що розраховувався як середнє арифметичне блокових індексів дозволяв віднести якість поверхневих вод річки до відповідного класу якості:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} \quad (1)$$

Відповідно до методики, величини комплексного екологічного індексу мають градацію: від 1,0 до 1,4 – еталон порівнянь), відмінний стан; від 1,5 до 1,6 – перехідний від відмінного до доброго; від 1,7 до 3,4 – добрий стан; від 3,5 до 3,6 – перехідний стан від доброго до задовільного;

від 3,7 до 5,4 – задовільний стан; від 5,5 до 5,6 – перехідний стан від задовільного до поганого; від 5,7 до 6,4 – поганий стан; від 6,5 до 6,6 – перехідний стан від поганого до дуже поганого; від 6,7 до 7,0 – дуже поганий стан.

Виявлення частки окремого гідрохімічного показника в процесі формування якості поверхневих вод річки проводилось згідно методик розрахунку коефіцієнту внеску забруднення [9]:

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_j} \cdot 100\% = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

де  $K_j$  – доля забруднення і-го показника від загального об'єму забруднень на j-й ділянці водотоку;  $P_j$  – загальний показник забруднення води на j-й ділянці;  $P_{ij}$  – показник забруднення і-ї одиниці в j-й секції;  $C_{ij}$  – середнє значення і-го показника в j-й секції;  $C_{i0}$  – нормативне значення і-го показника; n – кількість показників, які були використані в розрахунках.

При цьому:

для окремих показників:

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{i0}} \quad (3),$$

для розчиненого у воді кисню:

$$P_{ij} = \frac{C_{i0}}{C_{ij}} \quad (4).$$

За нормовані показники якості поверхневих вод приймали гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водних об'єктів рибогосподарського призначення [13].

Після розрахунку перевищення відповідної норми та встановлення коефіцієнта забруднення для кожного показника, індекси внеску забруднення були згруповані кластерним аналізом за допомогою методу двостороннього зв'язку. Показники якості поверхневих вод із показниками вище 22% вважалися пріоритетними показниками моніторингу. Для визначення ключових індикаторів моніторингу були встановлені рангові коефіцієнти кореляції показників хімічного складу води за допомогою коефіцієнта кореляції Спірмена (міри непараметричних зв'язків) [14]. Усі результати оброблено згідно з основними принципами математичної статистики за допомогою прикладної програми Statistica 8.0.

**Результати дослідження.** Статистичний аналіз багаторічних даних спостережень за якістю поверхневих вод р. Случ дозволив оцінити рівні коливань та встановити середні значення гідрохімічних показників у створах спостережень.

Так, упродовж років спостережень середній вміст у воді р. Случ амоній-іонів становив 0,32 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 0,00 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 1,25 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 75,35%, що

свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 0,08 до 0,58 мг/дм<sup>3</sup> (p<0,01), при ГДКр/г 1,0 мгN/дм<sup>3</sup>.

Середнє значення показника БСК<sub>5</sub> у воді р. Случ впродовж 2005–2021 рр. становив 3,09 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення показника БСК<sub>5</sub> становили 0,92 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 5,95 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 41,88%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 1,80 до 4,39 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (p<0,01), при ГДКр/г 3,0 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ завислих (суспендованих) речовин становив 12,7 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 0,00 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 86,0 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 135,20%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 4,47 до 29,89 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 20,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ розчиненого кисню становив 8,2 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 4,63 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 11,29 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 17,60%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 6,76 до 9,64 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 6 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ нітрат-іонів становив 2,8 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 0,39 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 15,50 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 91,53%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 0,24 до 5,47 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 45,0 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ нітрит-іонів становив 2,8 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 0,00 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 0,54 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 101,04%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 0,0009 до 0,17 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 0,08 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ сульфат-іонів становив 73,42 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 10,29 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 698,0 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 205,83%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 77,70 до 224,55 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ фосфат-іонів становив 0,13 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника ста-

новили 0,00 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 0,52 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 77,96%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 0,03 до 0,25 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 0,7 мг/дм<sup>3</sup>.

Середній вміст у воді р. Случ хлорид-іонів становив 25,96 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення концентрацій даного гідрохімічного показника становили 4,30 мг/дм<sup>3</sup>, максимальні 49,63 мг/дм<sup>3</sup>. Коефіцієнт варіації проаналізованого ряду (n=62) становив 37,59%, що свідчить про високу мінливість показника (>25%). Більшість значень у ряді даних знаходились у діапазоні від 16,20 до 35,72 мг/дм<sup>3</sup>, при ГДКр/г 300 мг/дм<sup>3</sup>.

На основі отриманих була проведена екологічна оцінка якості поверхневих вод р. Случ та проаналізована динаміка категорій якості гідрохімічних показників по роках спостережень (рис. 1).

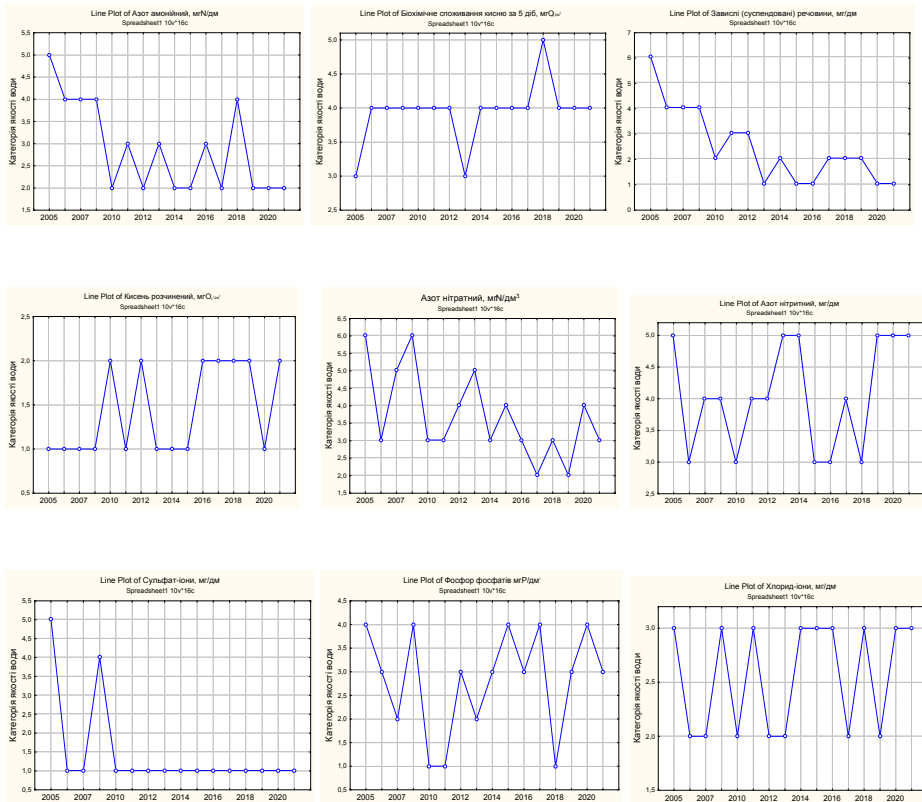


Рис. 1. Часова динаміка категорій якості поверхневих вод р. Случ

Так, найгірша ситуація спостерігалась за завислими речовинами в 2005 р. та азотом нітратним у 2008 р. – 6 категорія IV класу якості, а також

за азотом амонійним у 2005 р., за показником біохімічного споживання кисню в 2018 р., за азотом нітритним у 2005, 2013, 2014 і 2019–2021 рр. і за сульфат-іонами в 2005 р. – 5 категорія III класу якості.

За встановленими категоріями було проведено визначення комплексного екологічного індексу якості поверхневих вод для кожного року. Отримані дані дозволяють говорити, що впродовж 2005-2021 рр. для р. Случ якість води була найгіршою у 2005 р. і відповідала III класу – стан «задовільний», ступінь чистоти «забруднена». У 2006 і 2007 рр. якість покращилась до II класу – стан «добрий», ступінь чистоти «чиста». У 2008 р. якість води знову погіршилась до III класу, а від 2010 до 2021 р. знаходилась незмінно в межах II класу.

Однак, стан та чистота за встановленими категоріями мали відмінні характеристики за проаналізованими роками. Зокрема: 2005 р. – стан «задовільний», ступінь чистоти «слабко забруднена»; 2006 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2007 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2008 р. – стан «задовільний», ступінь чистоти «слабко забруднена»; 2010 р. – стан «дуже добрий», ступінь чистоти «чиста»; 2011 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2012 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2013 р. – стан «дуже добрий – добрий», ступінь чистоти «чиста-досить чиста»; 2014 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2015 р. – стан «дуже добрий – добрий», ступінь чистоти «чиста-досить чиста»; 2016 р. – стан «дуже добрий – добрий», ступінь чистоти «чиста – досить чиста»; 2017 р. – стан «дуже добрий – добрий», ступінь чистоти «чиста-досить чиста»; 2018 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2019 р. – стан «дуже добрий – добрий», ступінь чистоти «чиста – досить чиста»; 2020 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста»; 2021 р. – стан «добрий», ступінь чистоти «досить чиста».

Таким чином, проведена комплексна екологічна оцінка відносить якість поверхневих вод р. Случ переважно до II класу, з помітним внеском у його формування азоту нітратного, показника БСК<sub>5</sub> та фосфору фосфатів що свідчить про присутність в складі води досліджуваної річки біогенних елементів антропогенного походження.

Подальшим етапом нашої роботи стало проведення розрахунку коефіцієнту внеску забруднення для кожного гідрохімічного показника. Призначення даного розрахунку полягає в з'ясуванні частки участі речовини (показника) в формуванні якісних ознак води.

Оскільки ряд даних спостережень був доволі значним, ми розділили його на три періоди, в межах яких і проводили встановлення коефіцієнту внеску забруднення (табл. 1–3).

Таблиця 1. Результати розрахунку коефіцієнту внеску забруднення гідрохімічних параметрів р. Случ, 2005–2010 рр.

Гідрохімічні показники	Розрахункові параметри				
	$C_i$	$C_0$	$P_i$	$\Sigma P_i$	$K$
Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,5006	0,39	1,283476	11,58487	11,0789
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,7522	2	1,376111		11,87852
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	28,8800	20	1,444		12,46454
Кисень розчинений, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	6,0000	8,4	0,714286		6,16568
Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	4,5478	9,1	0,499756		4,313868
Нітриг-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,0728	0,02	3,638889		31,41071
Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	187,0044	100	1,870044		16,14213
Фосфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,1356	0,2	0,677778		5,850545
Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>	24,1578	300	0,080526		0,695096

Аналіз представлених таблиць свідчить, що коефіцієнти внеску забруднення мали досить широкий діапазон і коливались від 0,69 до 31,42 у період 2005–2010 рр.; від 0,91 до 50,79 у період 2011–2015 рр.; від 1,00 до 49,16 у період 2016–2021 р.

Таблиця 2. Результати розрахунку коефіцієнту внеску забруднення гідрохімічних параметрів р. Случ, 2011–2015 рр.

Гідрохімічні показники	Розрахункові параметри				
	$C_i$	$C_0$	$P_i$	$\Sigma P_i$	$K$
Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,26650	0,39	0,683333333	9,154487	7,464463
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,98550	2	1,49275		16,30621
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	7,04000	20	0,352		3,845109
Кисень розчинений, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	6,00000	8,31	0,722021661		7,887079
Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	2,55750	9,1	0,281043956		3,070013
Нітриг-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,09300	0,02	4,65		50,79476
Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	29,19300	100	0,29193		3,188928
Фосфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,11950	0,2	0,5975		6,526854
Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>	25,17250	300	0,083908333		0,916581

Таким чином, розрізненість значень коефіцієнту внеску забруднення свідчить про помітну різну участь окремих гідрохімічних показників у формуванні якості води р. Случ.

Проведений у четвертому розділі роботи розрахунок коефіцієнтів внеску забруднень до річки Случ виявив їх широкий діапазон у межах трьох часових інтервалів. Отримані дані були опрацьовані методом кластерного аналізу, що дозволило ранжувати всі значення коефіцієнтів у межах 5 категорій їх значень (рис. 2).



Таблиця 3. Результати розрахунку коефіцієнту внеску забруднення гідрохімічних параметрів р. Случ, 2016–2021 рр.

Гідрохімічні показники	Розрахункові параметри				K
	$C_i$	$C_0$	$P_i$	$\Sigma P_i$	
Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,25458	0,39	0,652778	9,281374	7,033202
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,44417	2	1,722083		18,55419
Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	5,30417	20	0,265208		2,857425
Кисень розчинений, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	6,00000	7,91	0,758534		8,172642
Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	1,83000	9,1	0,201099		2,166693
Нітрит-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,09125	0,02	4,5625		49,15759
Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	25,09375	100	0,250938		2,703668
Фосфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,15500	0,2	0,775		8,350057
Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>	27,97042	300	0,093235		1,004536

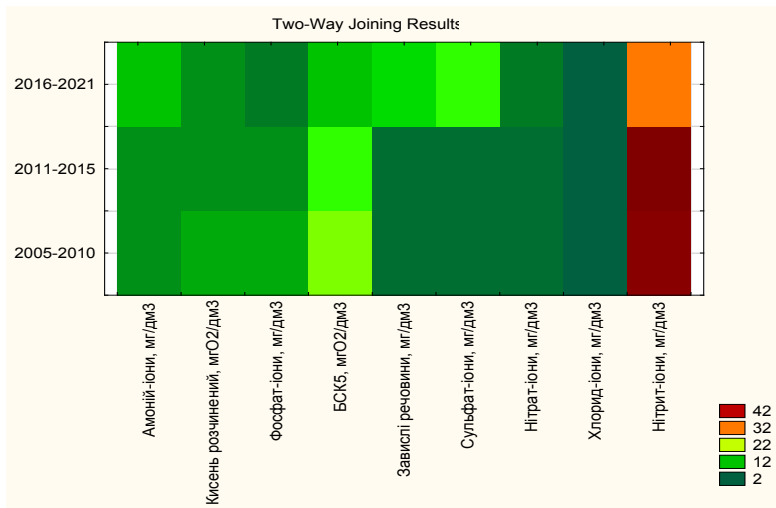


Рис. 2. Розподіл коефіцієнту внеску забруднення гідрохімічних показників р. Случ по роках спостережень

Зокрема, найвищі значення коефіцієнтів внеску забруднення за весь досліджуваний період (2005–2021 рр.) були встановлені за нітрит-іоном, які коливались у межах 31,41–50,79%. Помітними виявились коефіцієнти внеску забруднення за показником БСК<sub>5</sub>, які мали значення від 11,88% до 18,55% у період 2005–2015 рр., а також коефіцієнти внеску забруднення за сульфатами у період 2016–2021 рр., які сягнули величини 16,14% та за завислими речовинами – 2,86–12,46%.

Найнижчими виявились коефіцієнти внеску забруднень за хлорид-іонами, які не перевищували 1% за всі досліджувані роки. Для решти речовин значення коефіцієнтів внеску забруднення становили: амоній-іони – 7,03–11,08%; кисень розчинений – 6,17–8,17%; нітрат-іони – 2,17–4,31%; фосфат-іони – 5,85–8,35%.

Зокрема, пропонується проводити аналіз якості води на вміст показників, що мають коефіцієнт внеску до 12% – один раз у рік; показників із коефіцієнтом від 12 до 22% – один раз на шість місяців; показників із коефіцієнтом більше 22% (пріоритетні) – один раз у квартал (табл. 4).

**Таблиця 4. Періодичність проведення аналітичного контролю показників якості води в системі гідрохімічного моніторингу р. Случ**

Значення коефіцієнту внеску забруднення,%	Періодичність контролю, раз/рік	Найменування показника
<12	1	Хлорид-іони, кисень розчинний, нітрат-іони, фосфат-іони, амоній-іони
12–22	2	БСК <sub>5</sub> , сульфат-іони, завислі речовини
>22	4	Нітрит-іони

Відповідно до загальноприйнятих екологічних оцінок, гідрохімічні показники, що входять до програми державного моніторингу стану водних ресурсів та аналіз яких було проведено в даній роботі, входять до сольового (сульфат-іони, мг/дм<sup>3</sup> і хлорид-іони, мг/дм<sup>3</sup>) та трофо-сапробіологічного блоків (амоній-іони, мг/дм<sup>3</sup>; БСК<sub>5</sub>, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; завислі речовини, мг/дм<sup>3</sup>; кисень розчинений, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; нітрат-іони, мг/дм<sup>3</sup>; нітрит-іони, мг/дм<sup>3</sup>; фосфат-іони, мг/дм<sup>3</sup>). Безумовно, вклад кожного з цих показників у формування екологічного стану поверхневих вод достатньо суттєвий [10], а тому, говорити про недоцільність відстеження їх концентрацій у річковій воді вбачається неможливим. На нашу думку, оптимізація програми моніторингу може спиратись на перегляд періодичності визначення тих чи інших гідрохімічних показників, спираючись на статистичний аналіз багаторічних даних моніторингу та розрахунок коефіцієнтів їх внеску забруднення. Саме такі підходи пропонуються на сучасному етапі вивчення стану поверхневих вод [15; 16].

Запропонована нами періодичність проведення контролю якості поверхневих вод р. Случ, зможе сприяти знаходженню компромісу між кількістю вимірюваних показників якості води, з одного боку, і частотою відбору проб і кількістю місць відбору проб, з іншого боку [17].

Таким чином, рішення полягає в тому, щоб або відмовитися від більшої кількості змінних на користь збереження більшої кількості ділянок моніторингу та збільшення частоти відбору проб, або зберегти більше змінних якості води, скоротивши кількість точок моніторингу та/або частоту відбору проб.

**Висновки.** Отримані на підставі середніх значень блокових індексів, значення комплексного екологічного індексу поверхневих вод р. Случ дозволяють відмітити впродовж 2005–2021 рр. якість води поступово покращилась. 2005–2008 рр. – стан «задовільний», «добрий». Від 2010 року стан «дуже добрий – добрий». Отож, комплексна екологічна оцінка відносить якість поверхневих вод р. Случ переважно до II класу, з помітним внеском у його формуванні азоту нітратного, показника БСК<sub>5</sub> та фосфору фосфатів. Це свідчить про присутність у водах досліджуваної річки біогенних елементів антропогенного походження.

Проведений розрахунок коефіцієнтів внеску забруднення виявив досить широкий їх діапазон коливань – від 0,69 до 31,42 у період 2005–2010 рр.; від 0,91 до 50,79 у період 2011–2015 рр.; від 1,00 до 49,16 у період 2016–2021 р.

Запропоновано проводити аналіз якості води на вміст показників, що мають коефіцієнт внеску до 12% – один раз на рік: хлорид-іони, амоній-іони, кисень розчинений, нітрат-іони, фосфат-іони; показників із коефіцієнтом від 12 до 22% – один раз на шість місяців: БСК<sub>5</sub>, сульфати, завислі речовини; показників із коефіцієнтом більше 22% (пріоритетні) – один раз на квартал: нітрит-іони.

Запропонована періодичність проведення контролю якості поверхневих вод р. Случ, зможе сприяти тому, щоб або відмовитися від більшої кількості змінних на користь збереження більшої кількості ділянок моніторингу та збільшення частоти відбору проб, або зберегти більше змінних якості води, скоротивши кількість точок моніторингу та/або частоту відбору проб.

## **SELECTION OF INDICATORS OF SURFACE WATER QUALITY MONITORING OF SLUCH RIVER**

*Biedunkova O. O. – Doctor of Biology, Professor,*

*Statnyk I. I. – Candidate of Agricultural Science, Associate Professor,  
The National University of Water and Environmental Engineering,*

*Boiaryn M. V. – Candidate of Geographical Science, Associate Professor,  
Lesya Ukrainka Volyn National University,  
o.o.biedunkova@nuwm.edu.ua*

Water quality monitoring programs help to understand various processes related to water quality and also provide information for water management. The purpose of our research was to determine the priority indicators of surface water monitoring of the Sluch River basin – the largest tributary of the Horyn River. The research used the database of surface water observations of the State Water Resources Agency of Ukraine (2005–2021). Ecological assessment of the surface water quality of the studied river

was made according to the methodology for the relevant categories. To optimize water quality control, we used the method of establishing the coefficient of the contribution of substances pollution. Indices were grouped by means of cluster analysis. Surface water quality indicators whose indices exceeded 6% were considered priority monitoring indicators. It was established that the quality of the surface waters of the Sluch River belonged mainly to the II class. The highest values of pollution contribution coefficients for the entire studied period were found for nitrite ion (31.41–50.79%). The coefficients of the contribution of pollution according to the indicator BSK5 (11.88%–18.55%) in the period 2005–2015, as well as sulfates in the period 2016–2021 (16.14%) and suspended substances (2.86–12.46%). The coefficients of contribution of pollution by chloride ions turned out to be the lowest (less than 1%). It is proposed to conduct an analysis of water quality for the content of indicators with a contribution rate of up to 12% – once a year: chloride ions, ammonium ions, dissolved oxygen, nitrate ions, phosphate ions; indicators with a coefficient from 12 to 22% – once every six months: BOD<sub>5</sub>, sulfates, suspended substances; indicators with a coefficient of more than 22% (priority) – once a quarter: nitrite ions. Such a scheme will be able to facilitate the rejection of more variables in favor of maintaining more monitoring sites and increasing the frequency of sampling.

Keywords: surface water quality, monitoring, hydrochemical indicators, pollution.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Guan X., Liu M., Meng Y. A comprehensive ecological compensation indicator based on pollution damage – protection bidirectional model for river basin. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 126. 107708. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107708>
2. Sondermann M. N., de Oliveira R. P. Using the WEI+ index to evaluate water scarcity at highly regulated river basins with conjunctive uses of surface and groundwater resources. *Science of The Total Environment*. 2022. 155754. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155754>
3. Wang X., Zhang Q., Chang W.-Y. Does economic agglomeration affect haze pollution? Evidence from China's Yellow River basin. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 335. 130271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130271>
4. Fan J., Wang S., Li H., Yan Z., Zhang Y., Zheng X., Wang P. Modelling the ecological status response of rivers to multiple stressors using machine learning: A comparison of environmental DNA metabarcoding and morphological data. *Water Research*, 2020. Vol. 183. 116004. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116004>
5. Jury W. A., Vaux H. The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005. Vol. 102(44). P. 15715–15720.
6. Duan M., Du X., Peng W., Zhang S., Yan L. A Revised Method of Surface Water Quality Evaluation Based on Background Values and Its Application to Samples Collected in Heilongjiang Province, China. *Water*. 2019. Vol. 11(5). 1057. URL: <https://doi.org/10.3390/w11051057>

7. Uddin Md. G., Nash S., Olbert A. I. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 2021. Vol. 122. 107218. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
8. Liao Y. H., Fan J., Chen S. X., Luo Y. P. The Existing Problems and Suggestions of Our Country's Surface Water Environment Quality Evaluation. *Safety and Environmental Engineering*, 2010. Vol. 17(3). P. 55–68.
9. Liu Y., Zheng B. H., Fu Q., Wang L. J., Wang M. The Selection of Monitoring Indicators for River Water Quality Assessment. *Environmental Sciences*, 2011. Vol. 8. P. 129–139.
10. Zhou Y. Real-time probabilistic forecasting of river water quality under data missing situation: Deep learning plus post-processing techniques. *Journal of Hydrology*. 2020. Vol. 589. 125164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125164>
11. Mir A., Piri J., Kisi O. Spatial monitoring and zoning water quality of Sistan River in the wet and dry years using GIS and geostatistics. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 135. P. 38–50.
12. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Окснюк О. П. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. К. : СИМВОЛ–Т, 1998. 28 с.
13. Гранично допустимі концентрації (ГДК) та орієнтовні допустимі рівні (ОДР) шкідливих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/v5793400-91> (дата звернення 20.12.2022 р.).
14. Статистика: підручник. За наук. ред. С. С. Герасименка. 2-ге вид., перероб. і доп. К. : КНЕУ, 2000. 467 с.
15. Ngabire M., Wang T., Xue X., Liao J. et al. Synergic effects of land-use management systems towards the reclamation of Aeolian Desertified Land in the Shiyang River Basin. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 139.108882. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201>
16. Shafiei M., Rahmani M., Gharari S., Davary K. et al. Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 316. 115201. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201>
17. Клименко М. О., Мошинський В. С., Бедункова О. О., Статник І. І. Вибір індикаторів моніторингу якості поверхневих вод річки Прип'ять. *Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць*. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 1(97). С. 61–73.

## REFERENCES

1. Guan X., Liu M., Meng Y. (2021). A comprehensive ecological compensation indicator based on pollution damage – protection bidirectional model for river basin. *Ecological Indicators* (electronic journal), Vol. 126, 107708. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107708> (accessed 15 March 2023).
2. Sondermann M. N., de Oliveira R. P. (2022). Using the WEI+ index to evaluate water scarcity at highly regulated river basins with conjunctive uses of surface and groundwater resources. *Science of The Total Environment*, (electronic journal), 155754. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155754> (accessed 5 March 2023).
3. Wang X., Zhang Q., Chang W.-Y. (2022). Does economic agglomeration affect haze pollution? Evidence from China's Yellow River basin. *Journal of Cleaner Production* (electronic journal), Vol. 335, 130271. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130271> (accessed 8 March 2023).
4. Fan J., Wang S., Li H., Yan Z., Zhang Y., Zheng X., Wang P. (2020). Modelling the ecological status response of rivers to multiple stressors using machine learning: A comparison of environmental DNA metabarcoding and morphological data. *Water Research* (electronic journal), Vol. 183, 116004. URL: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116004> (accessed 10 March 2023).
5. Jury W. A., Vaux H. (2005). The role of science in solving the world's emerging water problems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 102, no. 44, 15715–15720.
6. Duan M., Du X., Peng W., Zhang S., Yan L. (2019). A Revised Method of Surface Water Quality Evaluation Based on Background Values and Its Application to Samples Collected in Heilongjiang Province, China. *Water* (electronic journal), Vol. 11, no. 5, 1057. URL: <https://doi.org/10.3390/w11051057> (accessed 4 March 2023).
7. Uddin Md. G., Nash S., Olbert A. I. (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators* (electronic journal), Vol. 122, 107218. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218> (accessed 19 March 2023).
8. Liao Y. H., Fan J., Chen S. X., Luo Y. P. (2010). The Existing Problems and Suggestions of Our Country's Surface Water Environment Quality Evaluation. *Safety and Environmental Engineering*, vol. 17, no. 3, 55–68.
9. Liu Y., Zheng B. H., Fu Q., Wang L. J., Wang M. (2011). The Selection of Monitoring Indicators for River Water Quality Assessment. *Environmental Sciences*, Vol.8, 129–139.
10. Zhou Y. (2020). Real-time probabilistic forecasting of river water quality under data missing situation: Deep learning plus post-processing techniques. *Journal of Hydrology* (electronic journal), Vol. 589, 125164. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125164> (accessed 11 March 2023).

11. Mir A., Piri J., Kisi O. (2017). Spatial monitoring and zoning water quality of Sistan River in the wet and dry years using GIS and geostatistics. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 135, 38–50.
12. Romanenko V. D., Zhukynskyi V. M., Oksyiuk O. P. (1998). *Metodyka ekolohichnoi otsinky yakosti poverkhnevyykh vod za vidpovidnymi katehoriiami* [Methodology of environmental assessment of surface water quality by relevant categories]. Kyiv: SYMVOL–T. [in Ukrainian].
13. *Hranychno-dopustymi kontsentratsii (HDK) ta oriientovni dopustymi rivni (ODR) shkidlyvykh rehovyn u vodi vodnykh ob'ektiv hospodarsko-pytnoho ta kulturno-pobutovoho vodokorystuvannia* [Maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible levels (ADR) of harmful substances in the water of water bodies for economic, drinking and cultural and domestic water use]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/v5793400-91>. (accessed 12 January 2023). [in Ukrainian].
14. Herasymenko S. S. (2000). *Statystyka* [Statistics]. Textbook. Kyiv: KNEU. [in Ukrainian].
15. Ngabire M., Wang T., Xue X., Liao J. et al. (2022). Synergic effects of land-use management systems towards the reclamation of Aeolian Desertified Land in the Shiyang River Basin. *Ecological Indicators* (electronic journal), Vol. 139, 108882. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201> (accessed 5 March 2023).
16. Shafiei M., Rahmani M., Gharari S., Davary K. et al. (2022). Sustainability assessment of water management at river basin level: Concept, methodology and application. *Journal of Environmental Management* (electronic journal), Vol. 316, 115201. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115201> (accessed 15 March 2023).
17. Klymenko M. O., Moshynskyi V. S., Biedunkova O. O., Statnyk I. I. (2022). *Vybir indyikatoriv monitorynhu yakosti poverkhnevyykh vod richky Prypiat* [Selection of indicators for monitoring the quality of surface waters of the Pripjat River.]. *Herald NUWEE. Agricultural sciences: a collection of scientific works*, Vol. 1, no. 97, 61–73. [in Ukrainian].