

учених, приурочена 115-річчю від дня народження Д. С. Дуки. – Умань, 2017. – С.85-87.

УДК 502.5

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ НИЖЬОГО ДНІПРА

Шахман І.О. – к. геогр. н., доцент ХДАУ,  
Бистрянцева А.М. – к. ф.-м. н., доцент ХДУ,  
Пічура В.І. – к. с.-в. н., доцент ХДАУ

У статті висвітлено застосування математичних моделей при дослідженні гідроекологічних проблем. Виконана оцінка якості води поверхневих вод Нижнього Дніпра (2013–2015 рр.) в межах Херсонської області за різними методиками за гідрохімічними показниками відповідно до діючих нормативів якості поверхневих водних ресурсів рибного господарського призначення. Встановлено, що віднесення басейну Нижнього Дніпра до водного об'єкту рибного господарського призначення на сьогодні пов'язано з певними екологічними ризиками.

**Ключові слова:** математична модель, екологічна оцінка якості води, гідрохімічні показники, водні об'єкти рибного господарського призначення.

Шахман И.А., Быстрянцева А.Н., Пичура В.И. Математическое моделирование гидроэкологических процессов и численные расчёты гидрохимического режима Нижнего Днепра

В статье освещено применение математических моделей при исследовании гидроэкологических проблем. Выполнена оценка качества воды поверхностных вод Нижнего Днепра (2013–2015 гг.) в пределах Херсонской области по разным методикам по гидрохимическим показателям в соответствие действующим нормативам качества поверхностных водных ресурсов рыбохозяйственного значения. Установлено, что на сегодня считать бассейн Нижнего Днепра водным объектом рыбохозяйственного значения связано с определёнными экологическими рисками.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, экологическая оценка качества воды, гидрохимические показатели, водные объекты рыбохозяйственного значения.

Shakhman I.A., Bystryantseva A.N., Pichura V.I. Mathematical modeling of hydroecological processes and numerical calculations of the hydrochemical regime of the Lower Dnieper

The article highlights the application of mathematical models in the research of hydroecological problems. Estimation of the quality of surface water of the Lower Dnieper (2013–2015) within the Kherson region by different methods by hydrochemical parameters in accordance with the current standards of the quality of surface water resources of fishery significance was executed. It was established that for today it is connected with certain ecological risks to consider the basin of the Lower Dnieper as a water object of fishery significance.

**Keywords:** mathematical modelling, ecological estimation of water quality, hydrochemical parameters, water objects of fishery significance.

**Постановка проблеми.** Еволюція сучасної науки характеризується глибоким проникненням математичних методів дослідження у різні сфери наукової думки. Сьогодні існує досить широкий діапазон застосування математичного моделювання до розв'язання багатьох екологічних, в тому числі й гідроекологіч-

них, проблем. Більше того, досвід застосування математичного та імітаційного моделювання не викликає жодних сумнівів щодо ефективності цього методу при дослідженні та прогнозуванні стану водних екосистем та якості води в умовах антропогенного впливу [1]. Оцінка, прогнозування стану гідроекосистем та розробка механізмів раціонального їх використання є одним з найважливіших завдань сучасних гідроекологічних досліджень, які обов'язково повинні ґрунтуватися на комплексній оцінці стану водних екосистем за гідрологічними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для успішного розв'язання складних практичних питань сучасної екології, особливо тих, що пов'язані з оцінкою та прогнозуванням якості природних вод і стану водних екосистем, використовують наступні імітаційні математичні моделі [1, 2]:

- модель водного режиму водного об'єкту;
- модель водно-сольового режиму;
- модель розповсюдження та накопичення різних токсичних і радіоактивних речовин;
- модель динаміки розчинених у воді кисню та органічних речовин;
- модель динаміки біогенних елементів тощо.

Сукупність процесів, що визначають стан досліджуваної водної екологічної системи, характеризується певними кількісними показниками, які при моделюванні цих процесів приймаються як змінні або сталі величини. Для кількісної характеристики абіотичних (фізико-хімічних, неживих) процесів часто використовуються концентрації  $c_{ij}$   $j$ -ї речовини на  $i$ -й ділянці. Потім на основі фунда-

ментальних законів фізики, збереження речовини, енергії та інших, а також враховуючи основні закони фізико-хімічної кінетики, складається баланс кругообігу речовин та енергії в даній водній екосистемі. Сукупність (множина) одержаних балансових і кінетичних співвідношень між змінними  $c_{ij}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, m$ ) і різними сталими (параметрами), як правило записуються у вигляді алгебраїчних, трансцендентних та диференціальних рівнянь. Ці рівняння є основою імітаційної математичної моделі, яка за допомогою програмного забезпечення дозволяє визначати (обчислювати), прогнозувати, оцінювати, аналізувати різні варіанти (сценарії) зміни в просторі і в часі основних показників (характеристик) стану водних екосистем і якості води залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на протікання різноманітних гідрофізичних, гідрохімічних та гідробіологічних процесів [1].

Якість води і стан прісноводних екосистем різних водних об'єктів (річок, озер, водосховищ, лиманів, каналів тощо) визначаються різними гідрохімічними, гідробіологічними та гідробіологічними показниками. На динаміку цих показників впливають численні абіотичні і біотичні процеси, що відбуваються внаслідок взаємодії різних компонентів екосистеми із зовнішніми природними факторами і факторами антропогенного походження. Крім цього, на динаміку водного і гідрохімічного режимів впливають внутрішньоводоймні процеси. Тому математичні та імітаційні моделі формування якості води в водних об'єктах повинні розроблятися з урахуванням взаємодії всіх основних факторів і процесів, що

впливають на динаміку показників якості води, зокрема показників гідрохімічного режиму (концентрації чи іншого інгредієнта). До таких факторів належать [1]:

- зміна річкового стоку або попусків води через греблю ГЕС;
- вплив підземного стоку;
- надходження дренажних вод з гідромеліоративних систем;
- надходження води і забруднюючих речовин з площі водозбору у вигляді промислових і побутових стоків;
- седиментація завислих у воді частинок;
- скаламучування донних відкладів;
- безповоротне водоспоживання;
- трансформація речовин (інгредієнтів) внаслідок фізико-хімічних, радіоактивних і біологічних перетворень;
- випаровування води з поверхні водоймищ.

При побудові математичної моделі гідрохімічного режиму. Як правило, використовуються досить прості математичні методи. Зокрема, вдаються до осереднення шуканих величин (концентрацій) по одному або двом просторовим координатам, а інколи і по всьому досліджуваному простору (по всій ділянці).

Значний внесок в наукові дослідження гідрохімічного режиму водних об'єктів басейну р. Дніпро належить вченим Київського національного університету імені Тараса Шевченка – Гореву Л.М., Пелешенку В.І., Хільчевському В.К., Руденку Р.В., Медведю В.М., Кравчинському Р.Л. та ін. [3]. Вагомі результати в розробці та в провадженні сучасних методик комплексної оцінки стану поверхневих вод зробили українські вчені Шерстюк Н.П. [4], Клименко М.О., Вознюк Н.М., Приходько В.Ю., Ліхо О.А., Бондарчук І.А., Романенко В.Д., Линник П.М. [5–7] та інші вітчизняні науковці. Дослідники відзначають, що за останніми дослідженнями поверхневих вод р. Дніпро, особливо в середній та нижній її течії, відбувається постійне їх забруднення та спостерігається перевищення значень гранично допустимих концентрацій (*ГДК*) речовин (вміст заліза, амонію, сульфатів, біогенних речовин тощо).

**Постановка завдання.** Метою роботи є проведення комплексної оцінки якості води річки Дніпро за період спостереження 2013–2015 рр. за різними методиками визначення якості води поверхневих водних об'єктів відповідно до рибогосподарських норм, як найбільш чутливих до змін екологічного стану річки.

Комплексні індекси, на основі яких здійснюється оцінка, розраховуються за всіма показниками якості вод або за їхніми частинами. Послідовність виконання оцінки складається з двох етапів: на першому етапі здійснюється розрахунок значення показника, а на другому за розрахованим значенням індексу і за шкалою якості дається словесна характеристика води. Оцінка має декілька балів.

Індекс забруднення води (*ІЗВ*) розраховується за формулою [8, 9]:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1)$$

де *ГДК<sub>i</sub>* – гранично допустима концентрація хімічного компоненту; *C<sub>i</sub>* – фактична концентрація хімічного компоненту; 6 – кількість інгредієнтів.

Отже, кількість показників, які беруться для розрахунку *ІЗВ*, повинна бути шість, і включати розчинений кисень (*O<sub>2</sub>*), біохімічне споживання кисню (*БСК<sub>5</sub>*), амоній ( $NH_4^+$ ), нітрити ( $NO_2^-$ ), нафтопродукти (*НП*), феноли ( $C_6H_5OH$ ).

На відміну від інших показників, для розчиненого кисню при розрахунках *ІЗВ* береться співвідношення норматив (*ГДК<sub>i</sub>*)/реальна концентрація (*C<sub>i</sub>*). Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1 – Критерії оцінки якості вод за індексом забруднення води (*ІЗВ*)**

Клас якості води	Характеристика класу	Значення індексу забруднення води
I	Дуже чиста	≤0,3
II	Чиста	0,31–1,0
III	Помірно забруднена	1,01–2,5
IV	Забруднена	2,51–4,0
V	Брудна	4,01–6,0
VI	Дуже брудна	6,01–10,0
VII	Надзвичайно брудна	>10,0

До I класу належать води, на які найменше впливає антропогенне навантаження. Значення їх гідрохімічних і гідробіологічних показників близькі до природних значень для даного регіону. Для вод II класу характерні певні зміни порівняно з природними, однак ці зміни не порушують екологічної рівноваги. До III класу належать води, які перебувають під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем. Води IV–VII класів – це води з порушеними екологічними параметрами, і їхній екологічний стан оцінюється як екологічний регрес.

Модифікований *ІЗВ* [8, 9] розраховується теж за шістьма показниками: біохімічне споживання кисню (*БСК<sub>5</sub>*) та розчинений кисень (*O<sub>2</sub>*) є обов'язковими, а інші чотири показники беруть з найбільшими відношеннями по *ГДК* з переліку:  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ , *XCK*,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Fe_{заг}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $As^{3+}$ , нафтопродукти (*НП*), синтетичні поверхнево-активні речовини (*СПАР*).

Методика Гідрохімічного інституту (ГХІ) [10, 11] полягає в одержанні однозначної оцінки якості води і проведенні на її основі класифікації води за ступенем придатності для основних видів водокористування. Відповідно до цієї методики [10, 11] оцінка на основі комбінаторного індексу забруднення (*КІЗ*) включає декілька етапів: визначення характеру забруднення за величиною умовного коефіцієнта комплексності; встановлення рівня і класу якості води за величиною комбінаторного індексу забруднення; виділення пріоритетних забруднюючих компонентів за кількістю і складом лімітуючих показників забруднення; проведення диференційованої оцінки лімітуючих забруднюючих речовин.

Умовний коефіцієнт комплексності розраховується за формулою:

$$K_{\%} = \frac{m'}{m} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $m'$  – кількість речовин, вміст яких перевищує  $ГДК$ ;  $m$  – загальне число нормативних інгредієнтів, обумовлених програмою досліджень.

При  $K < 10\%$  проводиться обстеження за конкретними забруднюючими речовинами. Визначаються максимальні концентрації і забезпеченість перевищення  $ГДК$  ( $1ГДК$ ,  $10ГДК$ ,  $100ГДК$ ).

При  $K \geq 10\%$  проводиться триступенева класифікація.

Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забруднення (повторюваності  $P$  випадків перевищення  $ГДК$ ):

$$P_i = N_{ГДК_i} / N_i, \quad (3)$$

де  $N_{ГДК_i}$  – число результатів аналізу, в яких вміст  $i$ -го інгредієнта перевищує його гранично допустиму концентрацію;  $N_i$  – загальне число результатів аналізу  $i$ -го інгредієнта.

Другий ступінь класифікації ґрунтується на встановленні рівня забруднення, мірою якого є кратність  $K$  перевищення  $ГДК$ :

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (4)$$

Оціночні бали визначаються згідно таблиць 2 і 3.

**Таблиця 2 – Класифікація водних об'єктів за повторюваністю забруднення**

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0–10	одиничне	$a$	0–10
10–30	нестійке	$b$	10–30
30–50	стійке	$c$	30–50
50–100	характерне	$d$	50–100

**Таблиця 3 – Класифікація водних об'єктів за рівнем забруднення**

Кратність перевищення нормативів	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0–2	низький	$a_1$	0–10
2–10	середній	$b_1$	10–30
10–50	високий	$c_1$	30–50
50–100	дуже високий	$d_1$	50–100

При визначенні першого і другого ступенів класифікації води по кожному з інгредієнтів розраховуються узагальнені оцінки якості води по таблиці 4.

**Таблиця 4 – Оцінка стану вод водних об'єктів за окремими показниками**

Комплексна характеристика стану забруднення води водних об'єктів	Загальні оціночні бали		Характеристика якості води водних об'єктів
	виражені умовно	абсолютні значення	
Одинична забрудненість			
низького рівня	$a \cdot a_1$	1	слабо забруднена
середнього рівня	$a \cdot b_1$	2	забруднена
високого рівня	$a \cdot c_1$	3	брудна
дуже високого рівня	$a \cdot d_1$	4	брудна
Нестійка забрудненість			
низького рівня	$b \cdot a_1$	2	забруднена
середнього рівня	$b \cdot b_1$	4	брудна
високого рівня	$b \cdot c_1$	6	дуже брудна
дуже високого рівня	$b \cdot d_1$	8	дуже брудна
Стіяка забрудненість			
низького рівня	$c \cdot a_1$	3	брудна
середнього рівня	$c \cdot b_1$	6	дуже брудна
високого рівня	$c \cdot c_1$	9	дуже брудна
дуже високого рівня	$c \cdot d_1$	12	неприпустимо брудна
Характерна забрудненість			
низького рівня	$d \cdot a_1$	4	брудна
середнього рівня	$d \cdot b_1$	8	дуже брудна
високого рівня	$d \cdot c_1$	12	неприпустимо брудна
дуже високого рівня	$d \cdot d_1$	16	неприпустимо брудна

Для заключного, третього ступеня класифікації комбінаторний індекс забруднення ( $KI3$ ) розраховується шляхом додавання узагальнених оціночних балів  $S_i$ , по усіх  $n$  показниках:

$$KI3 = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (5)$$

Класифікація якості води виконується в залежності від значення  $KI3$  і кількості лімітуючих показників забруднення ( $ЛПЗ$ ) (табл. 5). До  $ЛПЗ$  води відносять будь-який показник, за яким значення  $S_i$ , дорівнює 12 або 16.

**Таблиця 5 – Класифікація якості води водних об'єктів за значеннями КІЗ та ЛІЗ**

Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забрудненості води	Величина КІЗ з урахуванням ЛІЗ					
			без ЛІЗ	1ЛІЗ (k=0,9)	2ЛІЗ (k=0,8)	3ЛІЗ (k=0,7)	4ЛІЗ (k=0,6)	5ЛІЗ (k=0,5)
I	–	Слабо забруднена	1n	0,9n	0,8n	0,7n	0,6n	0,5n
II	–	Забруднена	1n ÷ 2n	0,9n ÷ 1,8n	0,8n ÷ 1,6n	0,7n ÷ 1,4n	0,6n ÷ 1,2n	0,5n ÷ 1,0n
III	–	Брудна	2n ÷ 4n	1,8n ÷ 3,6n	1,6n ÷ 3,2n	1,4n ÷ 2,8n	1,2n ÷ 2,4n	1,0n ÷ 2,0n
III	а	Брудна	2n ÷ 3n	1,8n ÷ 2,7n	1,6n ÷ 2,4n	1,4n ÷ 2,1n	1,2n ÷ 1,8n	1,0n ÷ 1,5n
III	б	Брудна	3n ÷ 4n	2,7n ÷ 3,6n	2,4n ÷ 3,2n	2,1n ÷ 2,8n	1,8n ÷ 2,4n	1,0n ÷ 2,0n
IV	а	Дуже брудна	4n ÷ 6n	3,6n ÷ 5,4n	3,2n ÷ 4,8n	2,8n ÷ 4,2n	2,4n ÷ 3,6n	2,0n ÷ 3,0n
IV	б	Дуже брудна	6n ÷ 8n	5,4n ÷ 7,2n	4,8n ÷ 6,4n	4,2n ÷ 5,6n	3,6n ÷ 4,8n	3,0n ÷ 4,0n
IV	в	Дуже брудна	8n ÷ 10n	7,2n ÷ 9,0n	6,4n ÷ 8,0n	5,6n ÷ 7,0n	4,8n ÷ 6,0n	4,0n ÷ 5,0n
IV	г	Дуже брудна	10n ÷ 11n	9,0n ÷ 9,9n	8,0n ÷ 8,8n	7,0n ÷ 7,7n	6,0n ÷ 6,6n	5,0n ÷ 5,5n

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вихідною інформацією для оцінки якості водних ресурсів Нижнього Дніпра в межах Херсонської області (у створах: р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла); р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла); р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач (0 км від гирла)) є результати аналітичного контролю поверхневих вод Державного агентства вод за 2013–2015 роки (проаналізовано 108 проб – 2916 хімічних показників), що були систематизовані в таблиці середньорічних концентрацій забруднюючих речовин.

Виконана оцінка якості води за гідрохімічними показниками за індексом забруднення води (ІЗВ) відповідно до рибогосподарських норм, які найбільш жорстко установлюють ГДК для більшості неорганічних та органічних речовин. Приклади розрахунків для створу р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла) за 2013–2015 рр. наведені в таблиці 6.

**Таблиця 6 – Комплексна оцінка якості води р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка за період 2013–2015 рр.**

Рік спостереження	Індекс забрудненості води (ІЗВ)	Клас якості води	Ступінь чистоти
2013	0,35	II	чиста
2014	0,26	I	дуже чиста
2015	1,29	III	помірно забруднена

За період дослідження ступінь чистоти річкової води змінився від категорії “чиста” (2013 р.) до “помірно забрудненої” (2014 р.).

Оцінка якості води за модифікованим індексом забруднення (МІЗВ) виконана за нормативами якості вод водойм рибогосподарського призначення для

всього періоду, що досліджується, а приклади розрахунків для створу р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла) наведені в таблиці 7.

**Таблиця 7 – Комплексна оцінка якості води р. Дніпро – м. Херсон за період 2013–2015 рр.**

Рік спостереження	Модифікований індекс забрудненості води (МІЗВ)	Клас якості води	Ступінь чистоти
2013	1,44	III	помірно забруднена
2014	1,25	III	помірно забруднена
2015	3,33	IV	забруднена

Наступним етапом дослідження було проведення оцінки якості води Нижнього Дніпра та придатності цих вод для використання у рибному господарстві за методикою Гідрохімічного інституту [10], яка передбачає розрахунок комбінаторного індексу забруднення КІЗ. Умовний коефіцієнт комплексності (2) перевищує 10% для всіх років розглянутого періоду, тому нами виконана триступенева класифікація. Результати розрахунків КІЗ і ЛІЗ та визначення класифікації якості наведені, як приклад, для створу р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач (0 км від гирла) у таблиці 8.

Порівняльна характеристика індексів забруднення води (ІЗВ), модифікованих індексів забруднення (МІЗВ) та комбінаторних індексів

**Таблиця 8 – Комплексна оцінка якості води р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач за період 2013–2015 рр.**

Рік	КІЗ	ЛІЗ	Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забруднення води
2013	40	0	III	а	брудна
2014	51	0	III	а	брудна
2015	46	0	III	а	брудна

забруднення (КІЗ) для ділянки Нижнього Дніпра, яка знаходиться в межах Херсонської області, за період 2013–2015 рр. та оцінка якості води водного об'єкту приведена в таблиці 9.

Індекс забруднення води за період спостережень змінювався в межах 0,23–1,29, максимальна величина (ІЗВ = 1,29) характерна для 2015 року. Загалом, клас якості води змінювався від I (дуже чиста) до III класу (помірно забруднена). Використання модифікованого індексу забруднення показало, що якість води набагато гірша: кількісні показники змінюються від 1,19 (2014 р.) до 3,48 (2015 р.), а відповідний їм ступінь чистоти оцінюється як “помірно забруднена” та “забруднена”. Спостерігається неспівпадіння результатів розрахунків за модифікованим та не модифікованим ІЗВ, тому виконано подальше дослідження якості води за методикою Гідрохімічного інституту. Результати оцінки якості води Нижнього Дніпра за рибогосподарськими показниками за комбінаторним індексом забруднення мають переважно III клас якості води, відповідно до якого дніпровська вода характеризується як “брудна”.

Динаміка зміни концентрацій речовин у Нижньому Дніпрі в межах Херсонської області на протязі 2013–2015 рр. демонструє негативний техногенний вплив на систему хімічного складу води річки. Найчастіше спостерігалось перевищення

значень нормативів якості вод водних об'єктів рибогосподарського призначення по мінералізації, фосфатам, хімічному споживанню кисню (ХСК (*Cr*), ХСК (*Mn*)), алюмінію, залізу, міді, нафтопродуктам, що має руйнівний вплив на розвиток водних біоресурсів та аквакультури.

Поточні зведені результати оцінки якості води Нижнього Дніпра за гідрохімічними показниками, на жаль, демонструють неможливість використання нижньої течії річки для рибного господарства.

**Висновки.** Проведена оцінка якості води за індексами забруднення (*ІЗВ*), модифікованими індексами забруднення води (*МІЗВ*) не є достатньою для обґрунтованого повного висновку стосовно екологічного стану водного об'єкту. Визначення якості води за методикою Гідрохімічного інституту (комбінаторні індекси забруднення) дозволяє врахувати ефект сумачії шкідливих речовин і підвищує достовірність результатів дослідження, та стверджувати з певною вірогідністю, що віднесення басейну Нижнього Дніпра до водного об'єкту рибогосподарського призначення на сьогодні пов'язано з певними екологічними ризиками. Передбачається подальше дослідження якості дніпровської води за комплексними показниками екологічного стану.

**Таблиця 9 – Зведені результати оцінки якості води Нижнього Дніпра за різними методиками за нормативами якості води поверхневих водних об'єктів рибогосподарського призначення за 2013-2015 рр.**

Пост	Якісна оцінка ступеня забруднення								
	<i>ІЗВ</i>			<i>МІЗВ</i>			<i>КІЗ</i>		
2013 рік									
р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла)	0,35	II	чиста	1,58	III	помірно забруднена	43	III	брудна
р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла)	0,31	II	чиста	1,44	III	помірно забруднена	40	III	брудна
р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач (0 км від гирла)	0,32	II	чиста	1,43	III	помірно забруднена	40	III	брудна
2014 рік									
р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла)	0,26	I	дуже чиста	1,19	III	помірно забруднена	36	II	забруднена
р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла)	0,23	I	дуже чиста	1,25	III	помірно забруднена	32	II	забруднена
р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач (0 км від гирла)	0,30	I	дуже чиста	1,21	III	помірно забруднена	51	III	брудна
2015 рік									
р. Дніпро – смт. Нововоронцовка-Ушкалка, Каховське вдсх. (195 км від гирла)	1,29	III	помірно забруднена	3,39	IV	забруднена	43	III	брудна
р. Дніпро – м. Херсон, 1 км вище міста (40 км від гирла)	1,27	III	помірно забруднена	3,33	IV	забруднена	46	III	брудна
р. Дніпро – с. Кизомис, рукав Рвач (0 км від гирла)	1,28	III	помірно забруднена	3,48	IV	забруднена	46	III	брудна

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Лаврик В.І. Методи математичного моделювання в екології. – К. Видавничий дім "КМ Академія", 2002. – 203 с.
2. Лаврик В.І., Боголобов В.Н. Управление качеством поверхностного стока с помощью математического моделирования процессов самоочищения // Гидробиол. журн. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 108–119.
3. Перевозчиков І.М. Гідрохімічний режим та якість води річки Інгулець // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / [Перевозчиков І.М., Савицький В.М.]; за ред. д. геогр. наук В.К. Хільчевського; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – Київ, 2013. – Т. 1(28). – С. 76–82.
4. Шерстюк Н.П., Хільчевський В.К. Особливості гідрохімічних процесів у техногенних і природних водних об'єктах Кривбасу. – Дніпропетровськ: Акцент, 2012. – 263 с.
5. Романенко В.Д. Комплексна оцінка екологічного стану басейну Дніпра / В.Д. Романенко, М.Ю. Євтушенко, П.М. Линник, О.М. Арсан, М.І. Кузьменко, Л.О. Журавльова, В.Г. Кленус, Ю.В. Плігін, В.І. Щербак, П.Г. Шевченко. – К. : Інститут гідробіології НАНУ, 2000. – 103 с.
6. Linnik P.N. Impact of humic substances on the secondary pollution of an aquatic environment by heavy metals and some organic compounds caused by the bottom sediments / P.N. Linnik, T.A. Vasylichuk, V.P. Osypenko, A.V. Zubko // Polish Journal Chemistry. – 2008. – Vol. 82. – P. 411–418.
7. Linnik P.N. Some peculiarities of metal migration in the aerobic and anaerobic conditions in the surface water bodies / P.N. Linnik // Russian Journal of General Chemistry. – 2010. – Vol. 80, N 13. – P. 2682–2693.
8. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник / С.М. Юрасов, Т.А. Сафранов, А.В. Чугай. – Одеса: Екологія, 2012. – 168 с.
9. Юрасов С.М. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення / С.М. Юрасов, С.О. Кур'янова, М.С. Юрасов // Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. – №5. – С. 42–53.
10. Емельянова В.П. Оценка качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям / В.П. Емельянова, Г.Н. Данилова, Т.Х. Колесникова // Гидрохимические материалы. – 1983. – Т.LXXXVIII / – С. 119–129.
11. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко – К.: Ніка-Центр, 2001. – 262 с.