

**ЕКОЛОГІЯ, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**

УДК 628.16

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОЗИ РЕАГЕНТІВ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО  
ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ОЗЕРА БАСІВ КУТ**

**Я. А. Гойко, В. В. Кондратишина, К. В. Ільїнська,**  
здобувачі вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія»,  
навчально-науковий інститут будівництва і архітектури  
Науковий керівник – д.т.н., професор О. М. Квартенко

*Національний університет водного господарства та природокористування,  
м. Рівне, Україна*

У статті наведено результати експериментальних досліджень щодо визначення оптимальних доз коагулянту для комплексного очищення природних вод оз. Басів Кут від розчинених органічних сполук, амонійного нітрогену у передзимовий період. Встановлено, що оптимальні дози коагулянту знаходяться в межах 60–80 мг/дм<sup>3</sup>, що дозволяє не тільки очищати води озера до норм ДСанПіН 2.2.4-171-10, але запобігати використанню кислоти для стабілізаційної обробки фільтрату. За результатами проведених досліджень запропонована технологічна схема очищення води оз. Басів Кут, яка складається з процесів коагуляції – відстоювання – фільтрації – стабілізаційної обробки фільтрату – знезараження та дозволяє провести очищення до норм ДСанПіН 2.2.4-171-10.

**Ключові слова:** розчинені органічні речовини, коагуляція, амонійний нітроген, стабілізаційна обробка води.

The article presents the results of experimental research on determining the optimal coagulant for comprehensive purification of natural lake waters Basiv Kut from dissolved organic compounds, ammonium nitrogen in the pre-winter period. It was established that the optimal doses of coagulant are within 60–80 mg/dm<sup>3</sup>, which allows not only to purify the lake waters to the standards of DSanPiN 2.2.4-171-10, but also to prevent the use of acid for the stabilization treatment of filtrate. Based on the results of the research, a technological scheme for water purification of the lake Basiv Kut is proposed. Technological scheme consists of the processes of coagulation – settling – filtration – stabilization treatment of filtrate – disinfection and allows cleaning to the norms of DSanPiN 2.2.4-171-10.

**Keywords:** dissolved organic matter, coagulation, ammonium nitrogen, water stabilization treatment.

**Як відомо,** поверхневі води знаходяться під більш потужною дією антропогенного навантаження порівняно із підземними. Враховуючи, що майже 70% населення України споживає воду із поверхневих джерел, які переважно знаходяться під впливом техногенних забруднень, питання щодо удосконалення існуючих, розробки нових водоочисних технологій та визначення оптимальних доз хімічних реагентів є актуальним питанням.

**Мета і задачі дослідження** полягали у визначенні оптимальних доз реагентів для комплексного очищення та стабілізаційної обробки води.

Для досягнення поставленої мети необхідно було:

- визначити оптимальні дози коагулянту для комплексного очищення води від розчинених органічних сполук, амонійного нітрогену та фосфору;
- визначити оптимальні дози реагентів для стабілізаційної обробки фільтрату.

**Методи досліджень.** В роботі використано фотоколориметричний метод для визначення концентрацій іонів амонію, величин каламутності та кольоровості води, феруму, титрометричний метод для визначення гідрокарбонатної та загальної лужності, вмісту йонів  $\text{Ca}^{2+}$ , а також перманганатної окисності за методом Кубеля, потенціометричний метод для визначення величини рН, йодометричний для визначення розчиненого у воді кисню, гравіметричний метод для аналізу сухого залишку [1–3].

**Предметом досліджень:** природна вода оз. Басів Кут та багатоступенева технологія комплексного її очищення та кондиціонування.

Дослідження проводили в період з 3.11 по 21.11.23 року в сертифікованій гідрохімічній лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування. Параметри якості вихідної води наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Дослідження змін параметрів якості води оз. Басів Кут в листопаді 2023 р.

| Параметри якості води   | Вихідна вода |      |       | ДсанПіН<br>2.2.4-171-10 |
|-------------------------|--------------|------|-------|-------------------------|
|                         | 3.11         | 7.11 | 21.11 |                         |
| Температура             | 10           | 10   | 8     |                         |
| Каламутність            | 45           | 41,5 | 35    | 1,5                     |
| Кольоровість            | 90           | 84   | 79    | 20                      |
| Кальцій                 | 90           | 90   | 90    | -                       |
| рН                      | 8,2          | 8,2  | 8,65  | 6,5-8,5                 |
| Лужність                | 5,2          | 5,0  | 5,7   |                         |
| Солевміст               | 280          | 300  |       | <1000                   |
| Перманганатна окисність | 16           | 20,8 | 10,56 | 5                       |
| Жорсткість              | 6,0          | 6,0  | Н.в.  |                         |
| Амонійний нітроген      | 1,16         | 0,7  | 0,42  | 0,5                     |
| Фосфати                 | 0,75         | 1,5  | 0,65  | ≤ 3,5                   |
| Індекс стабільності     |              | 0,84 |       | -                       |

При проведенні лабораторних досліджень були використані наступні прилади: фотоелектроколориметр КФК-3; іонімір універсальний ЭВ-74 з скляним /ЭСЛ-43-07/ та платиновим /ЭПЗ-1/ електродами при постійній температурі  $25,0 \pm 0,2^\circ \text{C}$ . В якості електроду порівняння використовувався хлорсрібний електрод /ЭВЛ-1М1/, заповнений розчином КСІ; портативний кондуктомір «Грейзінгер GМН 3410»; магнітна мішалка ММ-5; паперові фільтри «біла стрічка».

**Методика проведення досліджень.** Проби води відбиралися з одного і того ж місця на відстані 1,0 м від берега з глибини 40–50 см. В лабораторії воду розливали рівномірно в п'ять циліндрів. Об'єм води в кожному становив 500 мл. Потім до кожної з проб вносили певний об'єм розчину коагулянту алюміній гідроксохлориду, який відповідав дозам 10, 20, 38, 60, 80 мг/дм<sup>3</sup>. За допомогою магнітних мішалок відбувалося перемішування води з реагентом упродовж 60 с. Наступним кроком було 20 хвилинне відстоювання досліджувальних проб. Відстоюну частину проб фільтрували через «білу стрічку» з наступним відбором необхідних об'ємів фільтрату для визначення відповідних параметрів води (табл. 2).

Таким чином, в результаті проведених досліджень було визначено оптимальні дози реагентів та ефективність очищення води від легко окислювальних органічних речовин, її кольоровості, амонійного нітрогену, фосфатів при низьких температурах вихідної води.

Визначено оптимальної дози реагентів для проведення стабілізаційної обробки води озера Басів Кут.

**Обговорення отриманих результатів.** Характеристика оз. Басів Кут. Води озера належать до слабо лужних (рН 8,2–8,6); мало каламутних (35–45 мг/дм<sup>3</sup>); середньо кольорових (60–90 град ПКШ) природних вод з нормальним лужним резервом (6,0–5,7 ммоль/дм<sup>3</sup>) та середньою жорсткістю (6 ммоль/дм<sup>3</sup>) з підвищеним вмістом розчинених органічних речовин (ПО 11–20 мгО/дм<sup>3</sup>), амонійного нітрогену (до 1,16 мг/дм<sup>3</sup>), фосфатів (до 1,5 мг/дм<sup>3</sup>). Підвищені концентрації органічних сполук призводить до підвищеної біогенної активності води озера особливо у весняно-літній період. В цей період відбувається цвітіння води синьо-зеленими водоростями. Слід також відзначити, що води озера мають тенденцію до утворення накипу. В якості основного методу очистки, враховуючі показники якості води (табл. 1), нами був обраний фізико-хімічний метод. Запропонована технологічна схема складається з процесів коагуляції – відстоювання – фільтрації – стабілізаційної обробки фільтрату – знезараження.

На першому етапі були проведені дослідження щодо визначення оптимальної дози коагулянту для комплексного очищення води від розчинених органічних сполук, амонійного нітрогену та фосфору, результати яких наведено в таблиці 2; рис. 1–5.

Таблиця 2

Результати досліджень щодо визначення оптимальної дози коагулянту та ефективності очищення води оз. Басів Кут

| Параметри якості води   | Вихідна вода | Дози коагулянту, мг/дм <sup>3</sup> |                    |                    |                    |         | ДсанПіН 2.2.4-171-10 |
|---|--------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|----------------------|
|   |              | Д <sub>1</sub> =10                  | Д <sub>2</sub> =20 | Д <sub>3</sub> =38 | Д <sub>4</sub> =80 |         |                      |
| Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>                                  | 41,5         | 13,28                               | 11,6               | 3,0                | 1,3                | 1,5     |                      |
| Ефективність очищення, %  | -            | 68,3                                | 72,4               | 92,7               | 96,9               | -       |                      |
| Кольоровість, град. ПКШ   | 84           | 62,52                               | 31,26              | 45                 | 15,63              | 20      |                      |
| Ефективність очищення, %  | -            | 25,6                                | 62,7               | 46,4               | 81,4               | -       |                      |
| рН  | 8,2          | 8,06                                | 7,98               | 7,6                | 7,4                | 6,5-8,5 |                      |
| Лужність, ммоль/дм <sup>3</sup>                                   | 5,0          | 4,8                                 | 4,5                | 4,2                | 3,5                |         |                      |
| Солевміст, мг/дм <sup>3</sup>                                     | 300          | 305                                 | 310                | 315                | 340                | <1000   |                      |
| Перманганатна окисність, мгО/дм <sup>3</sup>                      | 20,8         | 7,2                                 | 6,4                | 4,4                | 4,0                | 5       |                      |
| Ефективність очищення, %  | -            | 65,4                                | 69,2               | 78,8               | 80,7               | -       |                      |
| Амонійний нітроген, мг/дм <sup>3</sup>                            | 0,7          | 0,28                                | 0,28               | 0,25               | 0,25               | 0,5     |                      |
| Ефективність очищення, %  | -            | 60                                  | 60                 | 67,1               | 67,1               | -       |                      |
| Індекс стабільності   | 0,84         | 0,68                                | 0,57               | 0,16               | -0,12              | -       |                      |
| Доза кислоти для стабілізаційної обробки води, мг/дм <sup>3</sup> | 20,6*        | 19,8*                               | 10,4*              | 4,3*               | 2,7**              |         |                      |

\* – доза кислоти, яка є необхідною для стабілізаційної обробки води, мг/дм<sup>3</sup>

\*\* – доза луку (NaOH) яка є необхідною для стабілізаційної обробки води, мг/дм<sup>3</sup>

Основними забрудниками досліджуваної води є органічні речовини як природного (таніни, гумінові та фульвові кислоти), так і антропогенного походження (амонійний нітроген, фосфати), які можуть знаходитися у стабільних станах, зокрема розчиненому або колоїдному.

Для дестабілізації цієї стабільної системи у воду зазвичай вводять розчин електроліту (коагулянту). В результаті процесу коагуляції відбувається злипання дрібних частинок дисперсних систем у більші агрегати з подальшою седиментацією дисперсної фази. Коагуляція йде з помітною швидкістю лише за концентрації електроліту (коагулянту), яка перевищує деяке критичне значення (рис. 1–2).

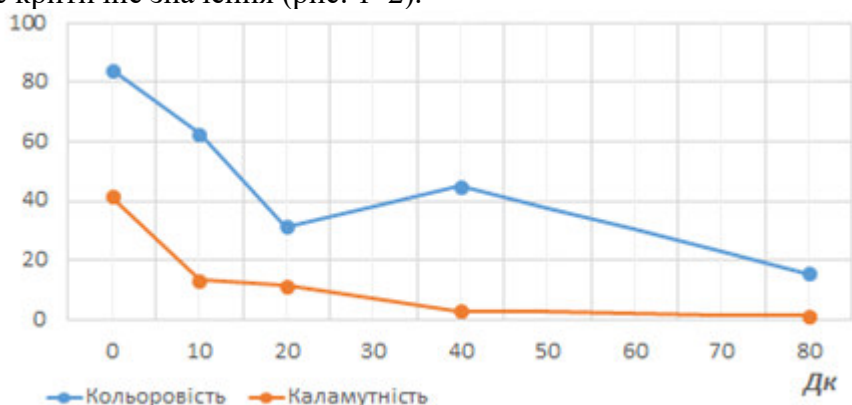


Рис. 1. Залежність зміни кольоровості та каламутності від Дк

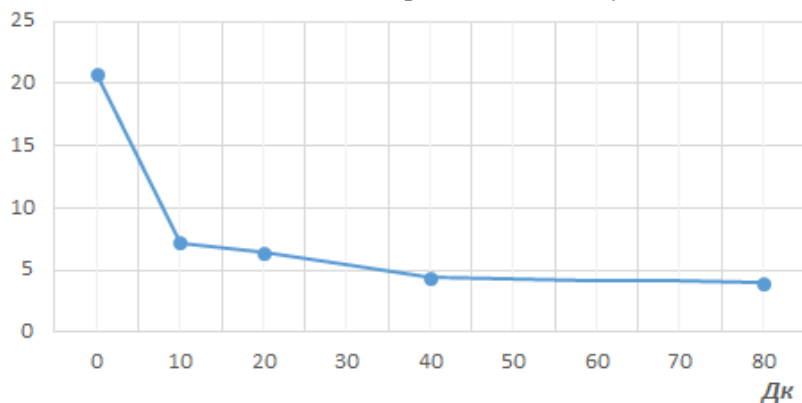


Рис. 2. Залежність зміни перманганатної окисності від Дк

Вище цієї концентрації (в області повільної коагуляції) швидкість коагуляції зростає зі зростанням концентрації електроліту до певної межі, після якої (в області швидкої коагуляції) перестає залежати від його концентрації. Області швидкої коагуляції відповідає повна дестабілізація частинок дисперсної фази, а саме коли в процесі розподілу фаз у відстояній воді міститься мінімальна концентрація завислих та органічних речовин. Такою концентрацією коагулянту, для даного випадку, можливо рахувати  $D_k$  в межах 60–80 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2; рис. 2–3). При таких концентраціях реагенту спостерігається найвищий ефект очищення води від завислих речовин (96,9%), кольоровості та розчинених органічних речовин (до 82%), амонійного нітрогену та фосфатів (до 67%). Всі ці показники відповідають нормам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [4] (рис. 3).

Крім того, слід відмітити, що вода переходить від слаболужного до нейтрального стану, зі зменшенням величини рН, гідрокарбонатної лужності (рис. 4) та збільшенням солевмісту від 300 до 340 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 2).

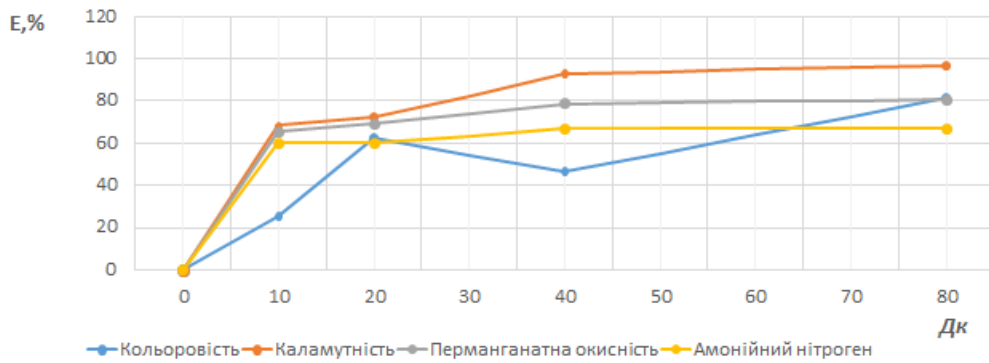


Рис. 3. Залежність зміни ефективності очищення кольоровості, каламутності, перманганатної окисності та амонійного нітрогену від Дк

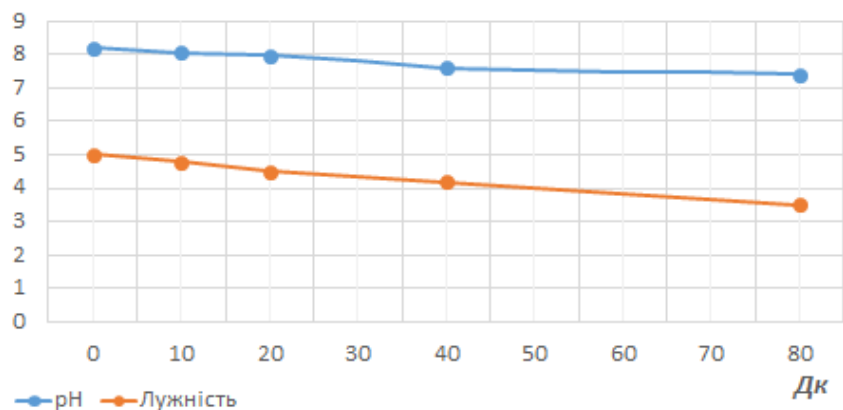


Рис. 4. Залежність зміни рН та лужності від Дк

Все це призводить до суттєвої зміни параметрів стабільності води, яка з води, що має тенденцію до серйозного утворення накипу, переходить до практично стабільного стану з індексом стабільності – 0,12 (рис. 5). Таким чином для її стабілізаційної обробки необхідно 2,5 мг/дм<sup>3</sup> розчину NaOH.

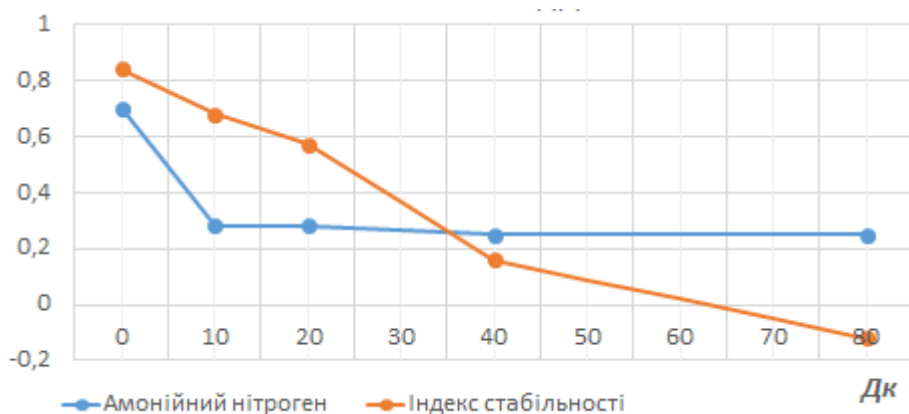


Рис. 5. Залежність зміни амонійного нітрогену та індексу стабільності води від Дк

Необхідність стабілізаційної обробки води визначаємо за індексом насиченості води:

$$J = pH - pH_s, \quad (1)$$

де  $pH$  – водневий показник води, яка досліджується;  $pH_s$  – водневий показник, при якому вода з концентраціями іонів кальцію і гідрокарбонатів при даній температурі води і загальному вмісті солі є стабільною, визначаємо за формулою

$$pH_s = f(t) - f(Ca^{2+}) - f(L) + f(P), \quad (2)$$

де  $f(t)$  – функція температури води;  $f(Ca^{2+})$  – функція концентрації в воді іонів кальцію, приймаємо  $f(L)$  – функція лужності води;  $f(P)$  – функція солевмісту води [5].

Дозу лужного реагенту для стабілізаційної обробки води визначають за формулою

$$D_e = 28 \cdot \beta_e \cdot K_m \cdot L \text{ мг/дм}^3, \quad (3)$$

де  $\beta_e$  – коефіцієнт, який залежить від  $pH$  і індексу насичення води [5],  $K_m$  – коефіцієнт, який залежить від температури, приймаємо  $K_m = 1,0$ .

Таким чином запропонована технологічна схема, яка складається з процесів коагуляції – відстоювання – фільтрації – стабілізаційної обробки фільтрату – знезараження та дозволяє провести очищення малокаламутних, кольорових вод, що містять підвищені концентрації розчиненої та колоїдної органіки до норм ДСанПіН 2.2.4-171-10.

**За результатами проведених досліджень були визначені:**

- оптимальні дози коагулянту для комплексного очищення води від розчинених органічних сполук, амонійного нітрогену та фосфору які становили 60–80 мг/дм<sup>3</sup>;

- оптимальні дози лужного реагенту (2,5 мг/дм<sup>3</sup>) у вигляді NaOH для стабілізаційної обробки фільтрату;

- встановлено, що в результаті використання оптимальних доз коагулянту ефективність очищення води становить: завислих речовин (96,9%), кольоровості та розчинених органічних речовин (до 82%), амонійного нітрогену та фосфатів (до 67%). Всі показники відповідають нормам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

1. МВВ 081/12-0016-01. Поверхневі води. Методика виконання вимірювань перманганатної окислюваності. Розроблено Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем (УкрНДІЕП), м. Харків; Центральною геофізичною обсерваторією Мінекоресурсів України. Атестовано: Українським державним науково-виробничим центром стандартизації, метрології та сертифікації Держстандарту України. 2. МВВ 081/12-0106-03. Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера (0,1–50 мг/дм<sup>3</sup>). Розроблено Українським науково-дослідним інститутом екологічних проблем Мінприроди України, Державною екологічною інспекцією Мінприроди України. 3. ДСТУ ISO 9963-1:2007. Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT). 4. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : затв. в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. № 452/17747. 5. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. К. : Знання, 2014. 278 с.