

## ЕКОЛОГІЯ

УДК 504.453

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.89.0.51

## ОЦІНКА ЗМІНИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА

Пономаренко Р. В.<sup>1</sup>, Пляцук Л. Д.<sup>2</sup>, Третьяков О. В.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України,  
<sup>2</sup>Сумський державний університет,  
<sup>3</sup>Харківська державна академія фізичної культури

**Анотація.** У статті перевірено адекватність математичної моделі для прогнозування зміни показників кисневого режиму в умовах екосистеми басейну Дніпра на основі класичної моделі Стрітера-Фелпса та її модифікації. Запропоновано підхід до удосконалення математичної моделі динаміки інтегральних показників екологічного стану водойми шляхом доповнення корегуючими коефіцієнтами.

**Ключові слова:** басейн Дніпра, екологічний стан, антропогенне навантаження, оцінка якості, прогноз якості.

**Вступ**

Питання охорони водних басейнів річок, а особливо їх раціонального використання – це найбільш актуальне питання сьогодення, що безпосередньо пов'язане із здоров'ям нації загалом.

Проблема, пов'язана з оцінкою якості води в реальному часі має першочергове значення. Системний аналіз сучасного екологічного стану басейну Дніпра та організації управління охороною і використанням його водних ресурсів дає змогу окреслити коло найбільш актуальних проблем, які потребують розв'язання.

Значення басейну Дніпра в забезпеченні водними ресурсами України важко переоцінити, оскільки майже 80 % ресурсів господарського водопостачання в Україні, а це дві третини території країни, на якій проживає близько 30 млн людей, припадає саме на води Дніпра. На його берегах розташовані понад півсотні великих міст та промислових центрів, зокрема столиця України – Київ, що визначає його загальнонаціональне значення для країни [1–3].

**Аналіз публікацій**

У [1–4] розглянуто основні характеристики басейну Дніпра, що визначають його екологічний стан, проведено ретроспективний аналіз якості води ріки Дніпро за даними моніторингу водних ресурсів України за останні 10 років (різниця сумарного вмісту аніонів, фосфат іонів  $\text{PO}_4^{3-}$ , амонію  $\text{NH}_4^+$ , відношення БСК<sub>5</sub> до концентрації розчиненого кисню), а також встановлено можливі причини зміни якості води поверхневого джерела.

Виходячи з проведеного аналізу [3, 4], водна екосистема річки Дніпро як головної водної артерії України, перебуваючи під постійним техногенним впливом, має тенденцію до постійного та стійкого погіршення свого екологічного стану. У подальшому зміна екологічного стану поверхневих вод басейну Дніпра в напрямку його покращення не може відбуватися без розроблення та запровадження надійної та ефективної моделі прогнозування його екологічного стану [5, 6].

Розв'язання комплексної проблеми екологічного оздоровлення басейну Дніпра необхідно здійснювати на якісно новому рівні відповідно до радикальних змін характеру природокористування та стратегії розвитку економіки країни і лише шляхом розроблення загальнодержавної програми відродження його екологічного стану.

На сьогодні достатньо змістовний огляд прогнозування та аналізу вмісту у воді розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню наводиться в публікаціях [5–13].

Досить великого поширення набули двокомпонентні прогнозні моделі екологічного стану води, де процеси формування якості води оцінюються споживанням кисню (процеси біохімічного окислення органічних сполук) та його надходженням (процес атмосферної аерації) [9, 10].

Деякі відмінності спостерігаються в прогнозуванні якості води: повернення до класичних моделей, в яких концентрація РК є функцією розпаду розчиненої органіки та природних процесів (атмосферна аерація). Співвідношення «РК-БСК» описується класичною моделлю Стрітера-Фелпса, рівняння

процесів у якій базуються на допущеннях кінетики першого порядку, були аналітично розв'язані Фелпсом і Стрітером для ділянки ріки, і на сьогодні є широко використовуваними у розрахунках [6, 7, 11–13].

Враховуючи вищезазначене, є доцільним визначити адекватність математичної моделі для прогнозування показників кисневого режиму в умовах басейну Дніпра на основі класичної моделі Стрітера-Фелпса, з врахуванням даних ретроспективного аналізу його кисневих показників.

#### Мета і постановка завдання

Метою статті є перевірка математичної моделі прогнозування показників кисневого режиму (БСК та РК) в умовах басейну Дніпра на основі класичної моделі Стрітера-Фелпса.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести ретроспективний аналіз даних кисневих показників Дніпра;
- перевірити адекватність моделі Стрітера-Фелпса для умов басейну Дніпра.

Проведення ретроспективного аналізу якісного стану води було здійснено за даними проб контрольного забору води р. Дніпро в межах Басейнового управління водними ресурсами за 12 постами [3].

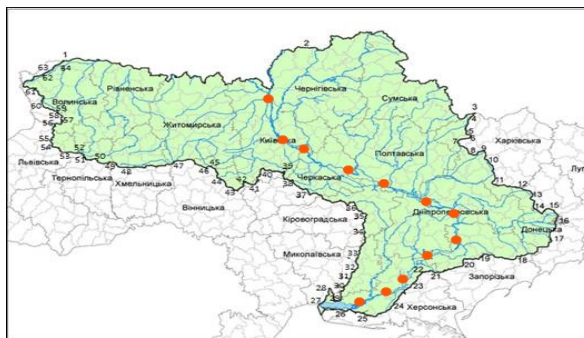


Рис. 1. Схематичне розміщення 12 постів контрольного забору води, за даними яких було проведено ретроспективний аналіз даних кисневих показників Дніпра

#### Дослідження кисневого режиму поверхневого джерела водопостачання

Дослідження кисневого режиму поверхневих вод басейну Дніпра проводили шляхом ретроспективного аналізу даних моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України з урахуванням вимог нормативних документів [14, 15] за період з січня 2014 р. до січня 2019 р. (для БСК<sub>5</sub>), з січня 2015 р. до січня 2019 р. (для РК). Вихідні дані для дослідження наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1 – Середньорічні значення РК (мг/дм<sup>3</sup>) на постах заборів води басейну Дніпра

Роки	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12
2014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	9,68	7,80	7,80	9,20	8,85	9,95	10,19	8,34	8,25	8,00	10,46	8,00
2016	9,53	7,45	9,53	7,57	9,01	9,47	9,46	8,30	7,87	9,20	10,63	9,20
2017	8,68	6,75	8,25	7,58	7,79	9,10	8,74	8,64	8,00	9,23	10,35	9,23
2018	8,83	8,82	9,05	8,79	8,96	8,78	8,48	8,50	7,40	8,53	9,53	8,53
2019	8,61	8,72	9,0	8,41	8,32	8,78	8,21	8,32	7,42	8,55	9,12	8,52

Таблиця 2 – Середньорічні значення БСК<sub>5</sub> (мг/дм<sup>3</sup>) на постах заборів води басейну Дніпра

Роки	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12
2014	2,9	3,6	2,4	2,4	3,6	2,1	2,4	2,9	2,8	1,4	1,3	1,4
2015	4,0	3,6	3,1	2,1	4,5	1,8	2,0	2,9	2,8	1,5	1,2	1,5
2016	4,3	4,2	3,3	2,1	3,9	2,4	2,4	2,6	2,9	1,6	1,3	1,6
2017	3,0	5,9	2,9	2,4	4,0	2,4	2,5	3,1	3,0	1,3	1,2	1,3
2018	2,4	6,0	2,4	2,0	3,5	2,2	2,4	3,1	3,5	2,0	1,5	2,0
2019	2,5	5,8	3,1	2,6	2,5	2,3	2,5	3,0	3,6	2,1	1,3	1,9

Таблиця 3 – Різниці вмісту за відношенням БСК<sub>5</sub> до концентрації РК між постами заборів води басейну Дніпра

Рік	$\Delta \text{БСК}_5 / \text{C}_{\text{O}_2} \text{ мг/дм}^3$										
	П2-П1	П3-П2	П4-П3	П5-П4	П6-П5	П7-П6	П8-П7	П9-П8	П10-П9	П11-П10	П12-П11
2015	0	0,04	-0,05	-0,17	0,28	-0,33	0,15	0,00	-0,15	-0,08	0,08
2016	0,01	0,11	-0,21	-0,07	0,17	-0,18	0,05	0,05	-0,19	-0,05	0,05
2017	0,02	0,53	-0,52	-0,03	0,19	-0,25	0,08	0,01	-0,23	-0,03	0,03
2018	-0,01	0,41	-0,43	-0,02	0,16	-0,13	0,08	0,11	-0,24	-0,08	0,08
2019	-0,02	0,39	-0,37	-0,01	0,12	-0,11	0,07	0,10	-0,21	-0,06	0,05

### Класична модель Стрітера-Фелпса в умовах взаємодії РК і БСК

Внутрішня структура моделі взаємодії РК і БСК визначається множиною  $\{S_1\}$  функцій споживання РК і множиною  $\{S_2\}$  функцій виробництва / споживання БСК. Аргументами кожної функції, що містяться в  $\{S_1\}$  і  $\{S_2\}$ , є РК і БСК (які, в свою чергу, є функціями координат і часу), а також їх похідні та чинники зовнішнього середовища – функції сторонніх джерел і стоків РК і БСК [6, 7].

Виходячи з [8, 9–12], очевидно, що вирішального впливу на всю еволюцію моделей РК і БСК завдало класичне дослідження Стрітера і Фелпса. У роботі наведено припущення, що баланс між концентраціями РК і БСК залежить тільки від двох процесів: реаерації потоку та споживання РК за умови окиснення (або розпаду) БСК, тобто

$$\begin{aligned} \{S_1\} &= \{-k_1 x_1\}, \\ \{S_2\} &= \{k_2 (C_s - x_2) - k_1 x_1\}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x_1$  – концентрація БСК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>;  $x_2$  – концентрація РК, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_s$  – концентрація насичення РК, мг/дм<sup>3</sup>;  $k_1$  – константа швидкості розпаду БСК<sub>5</sub> (коефіцієнт мінералізації), 1/с;  $k_2$  – константа швидкості реаерації для РК, 1/с.

Після врахування умов для спрощення (стаціонарність водного потоку, функцій  $S_1$  і  $S_2$  для всіх точок річки та рівномірність розподілу  $x_1$ ,  $x_2$  по перерізу потоку), тобто  $x_1 = x_1(z, t)$ ,  $x_2 = x_2(z, t)$ , де  $z$  – відстань від джерела скиду вздовж русла річки,  $t$  – час, а незалежні змінні  $z$  і  $t$  пов'язані одна з одною простим співвідношенням:  $z = ut$  (тут  $u$  – швидкість течії), модель Стрітера-Фелпса зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь і набуває такого вигляду:

$$\begin{cases} u \frac{dx_1}{dz} = -k_1 x_1; \\ \frac{dx_2}{dt} = u \frac{dx_2}{dz} = k_2 (C_s - x_2) - k_1 x_1. \end{cases} \quad (2)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = x_{1,0} e^{-k_1 z/u} + C_1; \\ x_2 = x_{2,0} e^{-k_2 z/u} + C_2 \left(1 - e^{-k_2 z/u}\right) + \frac{k_1}{k_2 - k_1} x_{1,0} \left(e^{-k_2 z/u} - e^{-k_1 z/u}\right) + C_2; \end{cases} \quad (3)$$

де  $x_{1,0}$ ,  $x_{2,0}$  – концентрації БСК<sub>5</sub> і РК відповідно в початковій точці, мг/м<sup>3</sup>;  $C_1$ ,  $C_2$  – коригувальні коефіцієнти, уведені для підвищення точності прогнозу.

$$C_1 = f(GM), \quad (4)$$

$$C_2 = f(COD/BOD), \quad (5)$$

де  $f(GM)$  – функція загального вмісту аніонів;  $f(COD/BOD)$  – функція, що визначає відношення БСК<sub>5</sub> до РК.

Видно, вдалині від точки скиду  $\lim_{t \rightarrow \infty} x_1 = 0$ , тобто вода самоочищується від активних домішок, а  $\lim_{t \rightarrow \infty} x_2 = C_s$ , тобто вода насичується киснем.

Множники  $x_{1,0}$  та  $x_{2,0}$  у рівняннях (3) визначаються експериментально, коефіцієнти  $k_1$  та  $k_2$  невідомі.

Коефіцієнти мінералізації  $k_1$  та реаерації  $k_2$  можуть бути знайдені експериментально за формулами:

$$k_1 = t^{-1} \cdot \ln \frac{x_{1,0}}{x_1}. \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{x_{1,0} \cdot k_1 \cdot e^{-k_1 t}}{x_2}. \quad (7)$$

### Дослідження зміни вмісту РК і БСК в умовах екосистеми басейну Дніпра

Зміна вмісту розчиненого кисню у воді Дніпра за середньорічними показниками наведена на рис. 2.

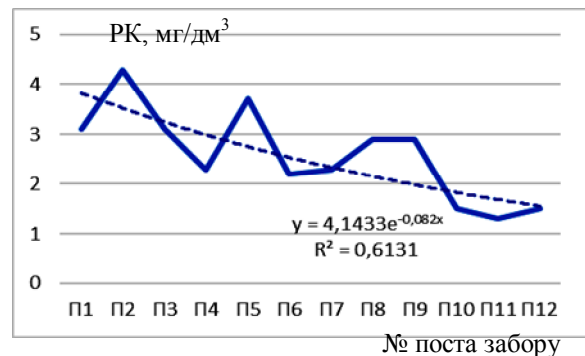


Рис. 2. Зміни вмісту розчиненого кисню (мг/дм<sup>3</sup>) у воді Дніпра за середньорічними показниками 2014–2019 рр.

На графіку (рис. 2) простежується чітка тенденція до зменшення розчиненого кисню у воді Дніпра, що вказує на суттєве погіршення кисневого режиму водної екосистеми

басейну Дніпра через значне антропогенне навантаження на його води, що підтверджується раніше проведеними дослідженнями [3].

Тенденції зміни вмісту БСК<sub>5</sub> у воді Дніпра за середньорічними показниками наведені на рис. 3.

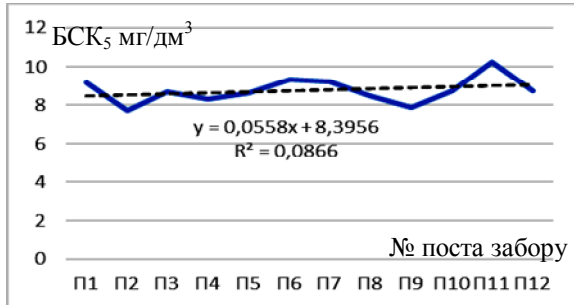


Рис. 3. Зміни вмісту БСК (мг/дм<sup>3</sup>) у воді Дніпра за середньорічними показниками 2014–2019 рр.

Так само, як у випадку з розчиненим киснем, на графіку спостерігається тенденція до збільшення показника БСК<sub>5</sub> у воді Дніпра, що також пояснюється збільшенням антропогенного навантаження на басейн водойми, що також є підтвердженням раніше проведених досліджень [3].

Додатковим підтвердженням виявленої тенденції є зміна значень відношення БСК<sub>5</sub> до РК (табл. 3, рис. 4), яка вказує постійне погіршення кисневого режиму, що дає нам змогу стверджувати про втрату спроможності водної екосистеми басейну Дніпра до самоочищення [3].

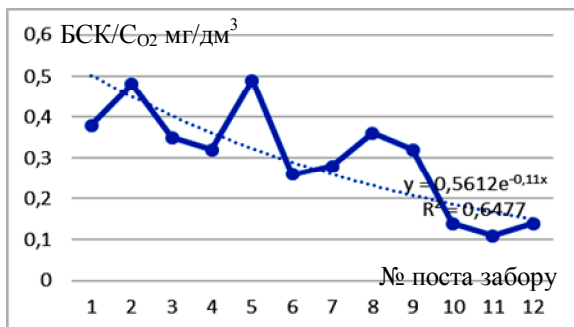


Рис. 4. Зміни вмісту за відношенням БСК<sub>5</sub> до РК у воді Дніпра за середньорічними показниками 2014–2019 рр.

#### Визначення коригуючого коефіцієнта для моделі визначення кисневого режиму водної екосистеми

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом Дніпра до-

зволив встановити, що коригуючий коефіцієнт  $C_1$  (4) залежить від загального вмісту аніонів у воді за законом:

$$C_1 = -0,00015c_1^2 + 0,27189c_1 - 81,192, \quad (8)$$

де  $C_1$  –  $\Delta$ БСК<sub>5</sub> (різниця БСК<sub>5</sub> вище та нижче місця скиду стічних вод), мг/м<sup>3</sup>;  $c_1$  – загальний вміст аніонів, мг/м<sup>3</sup>.

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом Дніпра дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт  $C_2$  (5) залежить від БСК<sub>5</sub>/РК у вигляді

$$C_2 = -0,55419c_2^2 - 0,55911c_2 + 2,871, \quad (9)$$

де  $C_2$  –  $\Delta$ РК (різниця РК вище та нижче за місце скиду стічних вод), мг/м<sup>3</sup>;  $c_2$  – відношення БСК<sub>5</sub>/РК.

Отже, маючи фактичні дані спостережень за екологічним станом водного об'єкта, виникає можливість обрахувати параметри моделі індикаторних (сигнальних) показників (РК – БСК) залежно від значень показників вмісту аніонів та відношення БСК<sub>5</sub>/РК.

Уведення коригуючих коефіцієнтів  $C_1$  і  $C_2$  дозволяють суттєво підвищити надійність прогнозу екологічного стану води поверхневого джерела водопостачання за допомогою запропонованої математичної моделі, що гарантує високу адекватність оперативних рішень управління водними ресурсами.

Для визначення параметрів моделі динаміки кисневого режиму Дніпра, тобто значення коефіцієнтів  $k_1$  (коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин) та  $k_2$  (коефіцієнт реаерації), використовуємо дані табл. 1–2 та розраховуємо за формулами (6) та (7). У табл. 4 наведені значення коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$ .

Таблиця 4 – Розраховані значення коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$

Пост	$k_1$	$k_2$
П1	-0,001667	0,00350
П2	0,001725	0,00783
П3	0,001525	-0,01254
П4	-0,002432	-0,01493
П5	0,002658	0,01451
П6	-0,000369	0,00740
П7	-0,001034	0,00311
П8	-0,000150	0,00076
П9	0,003318	0,01135
П10	0,000740	0,00075
П11	-0,000740	0,00064
П12	0,001061	0,0053

Отже, вихідними даними для розрахунку коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$  є усереднені середньорічні значення відповідних показників кисневого режиму за період 2014–2019 рр.

На підставі розрахованих коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$  визначено модельні значення БСК<sub>5</sub> та дефіциту розчиненого кисню. Перевірка адекватності моделі зміни БСК<sub>5</sub> та РК наведена на відповідних графіках (рис. 5 та 6), де зображені криві середньорічних значень показників БСК<sub>5</sub> та дефіциту розчиненого кисню за 2019 р., значення, змодельовані за класичною моделлю Стрітера-Фелпса, зокрема значення, отримані з врахуванням коригуючих коефіцієнтів.

Коефіцієнт кореляції між модельним значенням БСК<sub>5</sub> та фактичним становить (рис. 4) 0,76, а між фактичним значенням та модельним з використанням коригуючого коефіцієнта – 0,94, що можна вважати прийнятним, урахувавши досвід попередніх дослідників [6, 7], які вказують на те, що на всі моделі, запропоновані для опису взаємодії РК та БСК<sub>5</sub>, впливає факт неточності задання усіх параметрів цієї моделі, отриманих з експерименту (величина похибки може досягати 40 %).

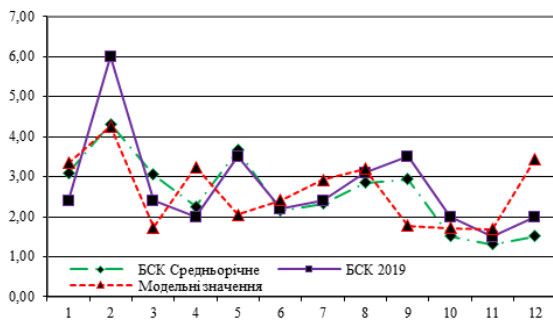


Рис. 5. Динаміка змодельованих, середньорічних та фактичних (2019 р.) значень БСК<sub>5</sub> (мг/дм<sup>3</sup>)

#### Результати моделювання значень кисневого режиму після введення коригуючого коефіцієнта

Результат моделювання значень розчиненого кисню (рис. 5) показує високий коефіцієнт кореляції – 0,85; за класичною моделлю – 0,71.

Перевагами запропонованого підходу є можливість простого та оперативного оброблення наявних даних моніторингу поверхневого джерела водопостачання. Використання запропонованої моделі дає змогу проводити

розрахунки без застосування спеціальних комп'ютерних програм та профільних навичок.

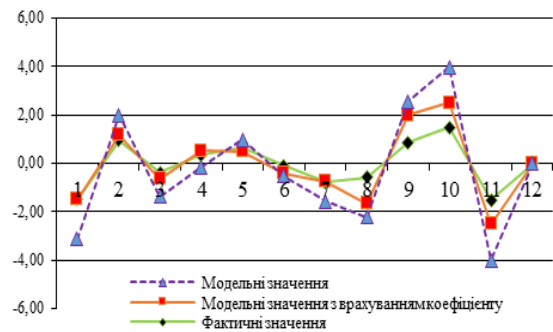


Рис. 6. Динаміка змодельованих та фактичних (2019 р.) значень розчиненого кисню (мг/дм<sup>3</sup>)

Недоліком усе ж справедливо буде вказати на обмеженість складників моделі, що може стати предметом подальших досліджень у напрямі визначення оперативних методів контролю зміни екологічного стану поверхневого джерела. Для досягнення мети наших досліджень застосування запропонованої моделі є виправданим.

Основне призначення отриманої моделі – прогноз показників БСК та дефіциту розчиненого кисню за результатами оперативного моніторингу.

#### Висновки

На основі даних ретроспективного аналізу за 2014–2019 рр. проведено аналіз зміни показників БСК та РК у воді Дніпра за 12 постами забору проб. Виявлено тенденції до погіршення кисневого режиму ріки – зменшення концентрації розчиненого кисню та збільшення БСК<sub>5</sub> за середньорічними показниками. Це можна пояснити збільшенням антропогенного навантаження на басейн водойми. Удосконалено математичну модель динаміки інтегральних показників екологічного стану водойми (модель Стрітера-Фелпса) шляхом доповнення корегуючими коефіцієнтами, що дозволяє з достатньо високою точністю прогнозувати зміну екологічного стану поверхневого джерела, зокрема в умовах водної екосистеми басейну Дніпра. Розраховано параметри  $k_1$  (коефіцієнт біохімічного окислення органічних речовин) та  $k_2$  (коефіцієнт реаерації) моделі Стрітера-Фелпса для умов вод басейну Дніпра.

## Література

1. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: підручник. – Київ: Знання, 2005. – С. 128.
2. Савчук Д. Екологічні та економічні аспекти функціонування Дніпровських водосховищ // Екологічний вісник. – 2003. – № 5–6. – С. 24–26.
3. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України / Р.В. Пономаренко та ін. // Техногенно-екологічна безпека. – Харків: НУЦЗ України. – 2019. – Вип. 6. – № 2. – С. 69–77.
4. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir / V. Bezsonnyi and other // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 5/10 (89). – P. 32–38. – URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/546>
5. Прогнозування кисневого режиму річки Сіверський Донець методами математичного моделювання / В.Л. Безсонний та ін. // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: зб. наук. праць. – Серія: Безпека життєдіяльності / ДВНЗ «Піднепр. держ. академія будва і архітектури»; під заг. ред. В. І. Большакова. – Дніпро, 2016. – Вип. 93. – С. 113–119.
6. Мокін Б.І., Мокін В.Б., Мокін О.Б. Математичні методи ідентифікації динамічних систем: навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 260 с.
7. Рогалев А.Н. Детерминированные и стохастические методы оценки качества воды в условиях неопределенности // Распределенные информационные и вычислительные ресурсы (DICR-2012): материалы XIV конференции с международным участием / Институт вычислительных технологий Сибирского отделения РАН, 2012. – С. 101–112.
8. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми / О.В. Третяков та ін. // Проблеми надзвичайних ситуацій: науковий журнал. – Харків: НУЦЗУ, 2019. – Вип. 29. – С. 61–78. – URL: [http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8881/1/%D0%9F%D0%9D%D0%A1%201\\_2019.pdf](http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8881/1/%D0%9F%D0%9D%D0%A1%201_2019.pdf)
9. Optimization Model for Planning Regional Water Resource Systems under Uncertainty / D.Y. Miao and other // Journal of Water Resources Planning and Management. – 2014. – Vol. 140, Issue 2. – P. 238–249. doi: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000303.
10. Madani K. Game theory and water resources // Journal of Hydrology. – 2010. – Vol. 381, Issue 3–4. – P. 225–238. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.11.045.
11. Hajkovicz S., Collins K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management // Water Resources Management. – 2006. – Vol. 21, Issue 9. – P. 1553–1566. doi: 10.1007/s11269-006-9112-5.
12. Bravo M., Gonzalez I. Applying stochastic goal programming: A case study on water use planning // European Journal of Operational Research. – 2009. – Vol. 196, Issue 3. – P. 1123–1129. doi: 10.1016/j.ejor.2008.04.034.
13. Integrated Watershed Management Modeling: Generic Optimization Model Applied to the Ipswich River Basin / V.I. Zoltay and other // Journal of Water Resources Planning and Management. – 2010. – Vol. 136, Issue 5. – P. 566–575. doi: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000083.
14. Карта Моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України. Державне агентство водних ресурсів України. – URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>.
15. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання: надано чинності наказом Держспоживстандарту України від 05.07.07 р. № 144. Офіц. вид. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 39 с. ( Національний стандарт України).

## References

1. Marinich O.M., Shishchenko P.G. Physical Geography of Ukraine: Textbook. – Kyiv: Knowledge, 2005. – P. 128.
2. Savchuk D. Ecological and economic aspects of the functioning of the Dnieper reservoirs // Ecological Bulletin. – 2003. – № 5–6. – P. 24–26.
3. Determination of ecological status of the main source of water supply in Ukraine / R.V. Ponomarenko, L.D. Plyatsuk, O.V. Tretyakov, P.A. Kovalyov // Technogenic and ecological safety. – Kharkiv: National Research Center of Ukraine. – 2019. – Issue 6. – № 2. – P. 69–77.
4. Bezsonnyi V., Tretyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of the oxygen regime of the Chervonooskil water reservoir // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 5/10 (89). – P. 32–38. – URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/546>
5. Sleepless V.L., Tretyakov O.V., Kravchuk A.M., Statsenko Yu.F. Forecasting the oxygen regime of the Siverskyi Donets River by mathematical modeling methods // Construction, material science, mechanical engineering: Coll. on-uk. wash. Series: Life Safety. DVNZ «Pridnepr. state. Academy of Construction and Architecture»; under the general editorship of V.I. Bolshakov. – Dnipro, 2016. – Vyp. 93. – P. 113–119.
6. Mokin B.I., Mokin V.B., Mokin O.B. Ma-thematic methods of identification of dynamic systems: a textbook. – Vinnytsia: National Technical University, 2010. – 260 p.

7. Rogalev A.N. Deterministic and stochastic methods for estimating water quality under uncertainty. Distributed Information and Computing Resources (DICR-2012) / Proceedings of the XIV Conference with International Participation / Institute of Computing Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012. – P. 101–112.
8. Increasing the efficiency of predicting the impact of technogenic pollution on surface water bodies / O.V. Tretyakov, V.L. Sleepless, R.V. Ponomarenko, P.Yu. Bo-relative // Problems of Emergency Situations: Scientific Journal. – Kharkiv: NUTSU, 2019. – Issue 29. – P. 61–78. – URL: [http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8881/1/%D0%9F%D0%9D%D0%A1%201\\_2019.pdf](http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8881/1/%D0%9F%D0%9D%D0%A1%201_2019.pdf)
9. Optimization Model for Planning Regional Water Resource Systems under Uncertainty / D.Y. Miao, Y.P. Li, G.H. Huang, Z.F. Yang, C.H. Li // Journal of Water Resources Planning and Management. – 2014. – Vol. 140, Issue 2. – P. 238–249. doi: 10.1061 / (asce) wr.1943-5452.0000303.
10. Madani K. Game theory and water resources // Journal of Hydrology. – 2010. – Vol. 381, Issue 3–4. – P. 225–238. doi: 10.1016 / j.jhydrol.2009.11.045.
11. Hajkowicz S., Collins K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management // Water Resources Management. – 2006. – Vol. 21, Issue 9. – P. 1553–1566. doi: 10.1007/s11269-006-9112-5.
12. Bravo M., Gonzalez I. Applying stochastic goal programming: A case study on water use planning // European Journal of Operational Research. – 2009. – Vol. 196, Issue 3. – P. 1123–1129. doi: 10.1016/j.ejor.2008.04.034.
13. Integrated Watershed Management Modeling: A Generic Optimization Model Applied to the Ipswich River Basin / V.I. Zoltay, R.M. Vogel, P.H. Kirshen, K.S. Westphal // Journal of Water Resources Planning and Management. – 2010. – Vol. 136, Issue 5. – P. 566–575. doi: 10.1061 / (asce) wr.1943-5452.0000083.
14. Map of Monitoring and Environmental Assessment of Water Resources of Ukraine. State Agency for Water Resources of Ukraine. – URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>.
15. DSTU 4808:2007. Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and environmental requirements for water quality and the rules of choice: issued by the order of the State Food and Food Standards Committee of Ukraine dated 05.07.07 № 144. Offic. kind. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine, 2007. – 39 p. (National standard of Ukraine).

**Пономаренко Роман Володимирович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, Національний університет цивільного захисту України, заступник начальника кафедри пожежної та

рятувальної підготовки, Харків, Україна, тел. +380634762120, [prv@nuczu.edu.ua](mailto:prv@nuczu.edu.ua)

**Пляцук Леонід Дмитрович**, д-р техн. наук, професор, Сумський державний університет, завідувач кафедри прикладної екології, Суми, Україна, тел. +38050-32-731-39,

[l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua)

**Третьяков Олег Вальтерович**, д-р техн. наук, доцент, Харківська державна академія фізичної культури, професор кафедри гігієни та фізіології людини, Харків, Україна, тел. +380973423180, [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net)

#### **Assessment of change and outlook of oxygen mode of surface source**

**Problem.** *Considering the continuous and continuous human activity and its negative impact on the state of the ecological regime of river runoff, there is a need to solve the problem related to the assessment of water quality in real time. This is especially true of the water ecosystem of the Dnieper basin as the main source of drinking water supply in Ukraine.* **Goal.** *The purpose of the article is to check the mathematical model of forecasting oxygen regime in the Dnieper basin on the basis of the classic Streiter-Phelps model and its modification.* **Methodology.** *A retrospective analysis was conducted according to the data on the control of water intake on the Dnieper within the framework of the Basin Water Management at 12 posts. The studies were carried out using a two-component model of Striter-Phelps, as well as its modification (dissolved oxygen – biological oxygen consumption). Trends in the deterioration of the river's oxygen regime and an increase in biological oxygen consumption by annual average have been identified. The mathematical model of the dynamics of the integral indices of the ecological status of the reservoir (the Striter-Phelps model) has been improved by supplementing the correction coefficients, which allows to predict with sufficient accuracy the change of the Dnieper ecological state. Results. The adequacy of the predictive mathematical model for forecasting oxygen regime conditions in the Dnieper basin is determined on the basis of the classic Streiter-Phelps model by retrospective analysis of the Dnieper oxygen parameters with further verification of the adequacy of the Streiter-Phelps model for the Dnieper basin conditions.* **Originality.** *The originality of the study is based on an integrated approach, which involves conducting a retrospective analysis of available data from the State Agency for Water Resources of Ukraine, which takes into account the principles of biodiversity conservation, sustainable use of water resources, management and basins of rivers, monitoring and evaluation of information on their status.* **Practical value.** *An improved mathematical model of the dynamics of the integral indicators of the ecological status of the reservoir by supplementing the correction coefficients allows to predict with sufficient accuracy the change of the ecological state of the surface source, including in the conditions of the aquatic ecosystem of the Dnieper basin.*

**Key words:** Dnieper basin, ecological status, anthropogenic load, quality assessment, quality forecast.

**Ponomarenko Roman**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, National University of Civil Defence of Ukraine, Deputy Head of the Department of Fire and Rescue Training, Kharkiv, Ukraine, +380634762120, [prv@nuczu.edu.ua](mailto:prv@nuczu.edu.ua)

**Plyatsuk Leonid**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Sumy State University, Head of the Department of Applied Ecology, Sumy, Ukraine, +38050-32-731-39, [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua)

**Tretyakov Oleg**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kharkiv State Academy of Physical Culture, Professor, Department of Hygiene and Human Physiology, Kharkiv, Ukraine, +380973423180, [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net)

#### **Оценка изменения и прогнозирования показателей кислородного режима поверхностных источников**

**Аннотация.** В статье проведена проверка адекватности математической модели для прогнозирования изменения показателей кислородного режима в условиях экосистемы бассейна Днепра на основе классической модели Стритер-Фелтса

и его модификации. Предложен подход к совершенствованию математической модели динамики интегральных показателей экологического состояния водоема путем дополнения корректирующими коэффициентами.

**Ключевые слова:** бассейн Днепра, экологическое состояние, антропогенная нагрузка, оценка качества, прогноз качества.

**Пономаренко Роман Владимирович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный университет гражданской защиты Украины, заместитель начальника кафедры пожарной и спасательной подготовки, Харьков, Украина, +380634762120, [prv@nuczu.edu.ua](mailto:prv@nuczu.edu.ua)

**Пляцук Леонид Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор, Сумской государственный университет, заведующий кафедрой прикладной экологии, Сумы, Украина, + 38050-32-731-39, [l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua](mailto:l.plyacuk@ecolog.sumdu.edu.ua)

**Третьяков Олег Вальтерович**, доктор технических наук, доцент, Харьковская государственная академия физической культуры, профессор кафедры гигиены и физиологии человека, Харьков, Украина, +380973423180, [mega\\_ovtr@ukr.net](mailto:mega_ovtr@ukr.net)