

**Scientific and technical journal
«Technogenic and Ecological Safety»**RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS**ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА В УМОВАХ
ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА****Р. В. Пономаренко¹, Л. Д. Пляцук², О. В. Третяков³, О. В. Черкашин¹, Й. Затько⁴**¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна²Сумський державний університет, Суми, Україна³Харківська державна академія фізичної культури, Харків, Україна⁴Європейський інститут подальшої освіти, Підгайська, Словаччина

УДК 504.453

DOI: 10.5281/zenodo.3780086

Отримано: 10 березня 2020

Прийнято: 22 квітня 2020

Cite as: Ponomarenko R., Plyatsuk L., Tretyakov O., Cherkashyn O., Zat'ko J. (2020). Forecasting of oxygen mode of surface sources in conditions of the water ecosystem of the Dnipro basin. Technogenic and ecological safety, 7(1/2020), 51–56. doi: 10.5281/zenodo.3780086**Анотація**

В статті визначено адекватність прогнозувальної математичної моделі для прогнозування показників кисневого режиму в умовах басейну Дніпра на основі класичної моделі Стрітера-Фелпса, шляхом проведення ретроспективного аналізу даних кисневих показників Дніпра з подальшою перевіркою адекватності моделі Стрітера-Фелпса для умов басейну Дніпра. Методика. Ретроспективний аналіз було проведено за даними контролю забору води на Дніпрі в рамках Басейнового управління водними ресурсами на 12 постах. Дослідження проводили з використанням двокомпонентної моделі Стрітера-Фелпса, а також її модифікації (розчинений кисень - біологічне споживання кисню). Виявлено тенденції до погіршення кисневого режиму річки та збільшення біологічного споживання кисню за середньорічними показниками. 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 Дніпра. Оригінальність дослідження базується на інтегрованому підході, який включає проведення ретроспективного аналізу за наявними даними в базі Державного агентства водних ресурсів України, який враховує принципи збереження біорізноманіття, сталого використання водних ресурсів, управління та басейни річок, моніторинг та оцінку інформації про їх стан. В подальшому врахування більшої кількості складових моделі, може стати предметом досліджень в напрямку визначення оперативних методів контролю зміни екологічного стану поверхневого джерела.

Ключові слова: басейн Дніпра, екологічний стан, антропогенне навантаження, оцінка якості, прогноз якості.**1. Постановка проблеми.**

Безперервна діяльність людини постійно призводить до погіршення якості води і екологічного режиму річкового стоку. Питання охорони водних басейнів річок, а особливо їх раціонального використання – це найбільш актуальне питання сьогодення, що безпосередньо пов'язане з здоров'ям нації в цілому.

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 вод 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 мільйонів 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, 2, 3].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В [2, 3, 4] розглянуто основні характеристики басейну Дніпра, що визначають його екологічний стан, проведено ретроспективний аналіз якості води річки Дніпро за даними моніторингу водних ресурсів України за останні 10 років (різниця сумарного вмісту аніонів, фосфат іонів PO_4^{3-} , амонію NH_4^+ , відношення BSC_5 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, знаходячись під постійним техногенним впливом, має тенденцію до постійного та стійкого погіршення її екологічного стану.

В подальшому зміна екологічного стану поверхневих вод басейну Дніпра в напрямку його покращення не може відбуватися без розробки та запровадження в дію надійної та ефективної моделі прогнозування його екологічного стану.

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 розробки загальнодержавної програми відродження його екологічного стану.

На сьогодні достатньо змістовні огляди прогнозуванню та аналізу вмісту у воді розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню наводяться у публікаціях [5–8].

Досить великого поширення здобули 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).

Деякі відмінності відмічаються 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 досить широко використовуваними у розрахунках [6, 7].

Враховуючи вищеперераховане 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.

3. Постановка завдання та його вирішення.

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

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проведення ретроспективного аналізу даних кисневих показників Дніпра;
- перевірка адекватності моделі Стрітера-Фелпса для умов басейну Дніпра.

Проведення ретроспективного аналізу якісного стану води було проведено за даними проб контрольного забору води р. Дніпро в межах Басейнового управління водними ресурсами по 12 постам (див. рис. 1) [3].



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

Дослідження кисневого режиму поверхневих вод басейну Дніпра проводили шляхом ретроспективного аналізу даних моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України Державного агентства водних ресурсів України з

врахуванням вимог нормативних документів [9, 10] за період з січня 2013 року по січень 2018 року (для БСК₅) та з січня 2015 року по січень 2018 року (для РК). Вихідні дані для дослідження наведені в табл. 1–2.

Таблиця 1 – Середньорічні значення розчиненого кисню (мг/дм³) на постах заборів води басейну Дніпра

Роки	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12
2013	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
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

Таблиця 2 – Середньорічні значення БСК₅ (мг/дм³) на постах заборів води басейну Дніпра

Роки	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12
2013	2,0	2,7	4,2	2,6	2,6	2,0	2,3	2,6	2,8	1,3	1,4	1,3
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

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 входять до $\{S_1\}$ і $\{S_2\}$ є РК і БСК (що, в свою чергу, є функціями координат і часу), а також їх похідні та фактори зовнішнього середовища – функції сторонніх джерел і стоків РК і БСК [6, 7].

Виходячи з [8] очевидно, що вирішального впливу на всю еволюцію моделей РК і БСК завдало класичне дослідження Стрітера і Фелпса. В роботі наведено припущення, що баланс між концентраціями РК і БСК залежить тільки від двох процесів: реаерації потоку та споживання РК при окисненні (або розпаді) БСК, тобто

$$\begin{cases} \{S_1\} = \{-k_1x_1\}, \\ \{S_2\} = \{k_2(C_s - x_2) - k_1x_1\}, \end{cases} \quad (1)$$

де x_1 – концентрація БСК₅, мг/дм³; x_2 – концентрація РК, мг/дм³; C_s – концентрація насичення РК, мг/дм³; k_1 – константа швидкості розпаду БСК₅ (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 зв'язані одне з одним простим співвідношенням: $z = ut$ (тут u – швидкість течії), модель Стрітера-Фелпса зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь і набирає наступного вигляду:

$$\begin{cases} u \frac{dx_1}{dz} = -k_1x_1; \\ \frac{dx_2}{dt} = u \frac{dx_2}{dz} = k_2(C_s - x_2) - k_2x_2. \end{cases} \quad (2)$$

Розв'язок цієї системи рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = x_{1,0}e^{-k_1z/u} + C_1; \\ x_2 = x_{2,0}e^{-k_2z/u} + C_s(1 - e^{-k_2z/u}) + \frac{k_1}{k_2 - k_1}x_{1,0}(e^{-k_2z/u} - e^{-k_1z/u}) + C_2; \end{cases} \quad (3)$$

де $x_{1,0}$, $x_{2,0}$ – концентрації, відповідно, БСК₅ і РК у початковій точці, мг/м³; C_1 , C_2 – коригувальні коефіцієнти, введені 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 БСК₅ до РК.

Видно, що на віддаленні 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 $x_{2,0}$ – в 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:

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

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

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

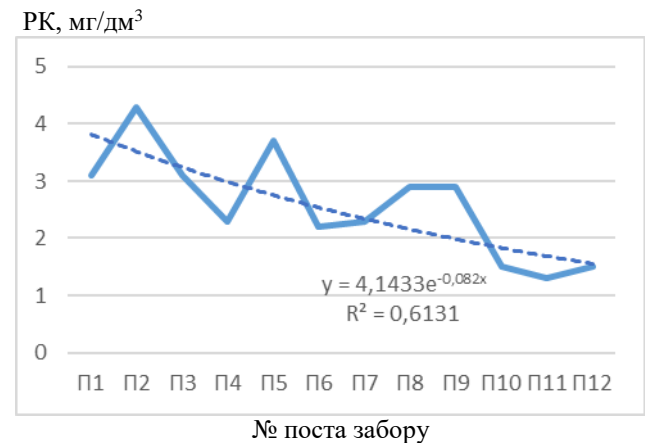


Рисунок 2 – Зміни вмісту розчиненого кисню (мг/дм³) у воді Дніпра за середньорічними показниками 2015–2018 рр.

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 БСК₅ у воді Дніпра за середньорічними показниками наведені на рис. 3.

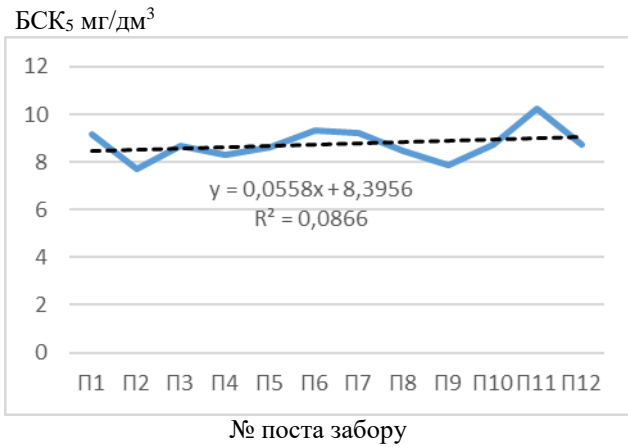


Рисунок 3 – Зміни БСК₅ (мг/дм³) у воді Дніпра за середньорічними показниками 2013–2018 рр.

Так само, як у випадку з розчиненим киснем, на графіку спостерігається тенденція до збільшення показника БСК₅ у воді Дніпра, що також пояснюється збільшенням антропогенного навантаження на басейн водойми, що також є підтвердженням раніше проведених досліджень [3].

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом Дніпра дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт C_1 (4) залежить від загального вмісту аніонів у воді за законом:

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

де C_1 – ΔБСК₅ (різниця БСК₅ вище та нижче місця скиду стічних вод), мг/м³; c_1 – загальний вміст аніонів, мг/м³.

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом Дніпра дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт C_2 (5) залежить від БСК₅/РК у вигляді

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

де C_2 – ΔРК (різниця РК вище та нижче місця скиду стічних вод), мг/м³; c_2 – відношення БСК₅/РК.

Таким чином, маючи фактичні дані спостережень за екологічним станом водного об'єкту, виникає можливість обрахувати параметри моделі індикаторних (сигнальних) показників (РК – БСК) у залежності від значень показників вмісту аніонів та відношення БСК₅/РК.

Введення 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 таблиць 1–2 та розраховуємо за формулами (6) та (7). В табл. 3 наведені значення коефіцієнтів k_1 та k_2 .

Таблиця 3 – 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

Таким чином, вихідними даними для розрахунку коефіцієнтів k_1 та k_2 є усереднені середньорічні значення відповідних показників кисневого режиму за період 2013–2018 рр.

На підставі розрахованих коефіцієнтів k_1 та k_2 розраховано модельні значення БСК₅ та дефіциту розчиненого кисню. Перевірка адекватності моделі зміни БСК₅ та РК приведена на відповідних графіках (рис. 4 та 5), де зображені криві середньорічних значень показників БСК₅ та дефіциту розчиненого кисню за 2018 рік, значення, змодельовані за класичною моделлю Стрітера-Фелпса, при цьому значення, отримані з врахуванням коригуючих коефіцієнтів.

Коефіцієнт кореляції між модельним значенням БСК₅ та фактичним становить (рис. 4) 0,76, а між фактичним значенням та модельним з використанням коригуючого коефіцієнту – 0,94, що можна вважати прийнятним враховуючи досвід попередніх дослідників [6, 7], які вказують на те, що на всі моделі, запропоновані для опису взаємодії РК та БСК₅ впливає факт неточності задання усіх параметрів цієї моделі, отриманих із експерименту (величина похибки може досягати 40 %).

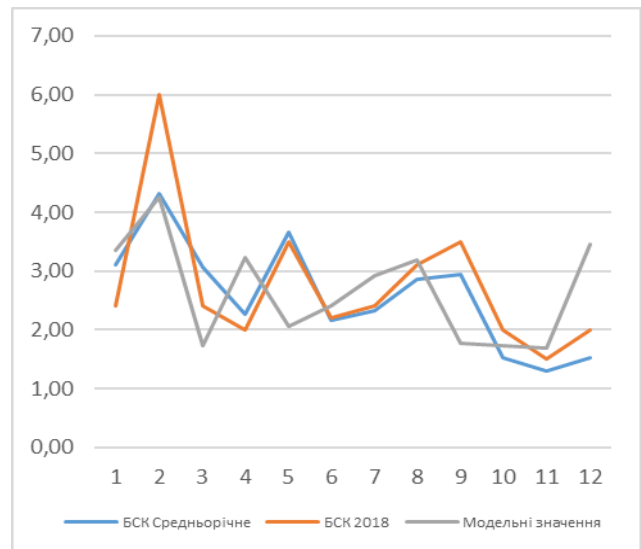


Рисунок 4 – Динаміка змодельованих середньорічних та фактичних (2018 р.) значень БСК₅ (мг/дм³)

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

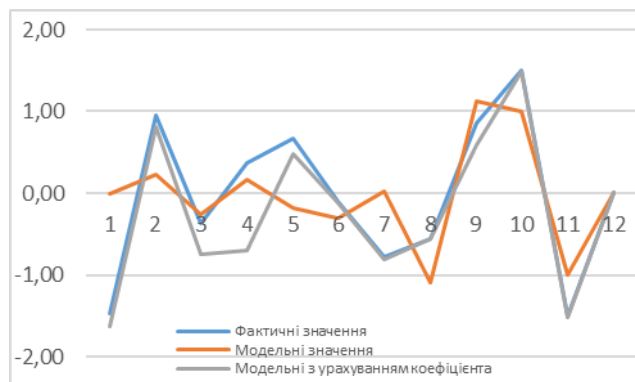


Рисунок 5 – Динаміка змодельованих та фактичних (2018 р.) значень розчиненого кисню (мг/дм³)

Перевагами запропонованого підходу є можливість простої та оперативної обробки наявних даних моніторингу поверхневого джерела водопостачання. Використання запропонованої моделі дає змогу проводити розрахунки без застосування спеціальних комп'ютерних програм та профільних навиків.

Як недоліком все ж справедливо буде вказати на обмеженість складових моделі, що можливо може стати предметом подальших досліджень в напрямку визначення оперативних методів контролю зміни екологічного стану поверхневого джерела. Для випадку досягнення мети наших досліджень застосування запропонованої моделі є оправданим.

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

4. Висновки.

На основі даних ретроспективного аналізу за 2013-2018 роки проведено аналіз зміни показників БСК та РК в воді Дніпра по 12 постах забору проб. Виявлено тенденції до погіршення кисневого режиму річки – зменшення концентрації розчиненого кисню та збільшення БСК₅ 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, в тому числі 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. К.: Знання, 2005. 128 с.
2. Савчук Д. Екологічні та економічні аспекти функціонування Дніпровських водосховищ. *Екологічний вісник*, 2003. № 5–6. С. 24-26.
3. Пономаренко Р. В., Пляцук Л. Д., Третяков О. В., Ковальов П. А. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України. *Техногенно-екологічна безпека*, 2019. № 6(2/2019). С. 69-77. URL: <http://jteb.nuczu.edu.ua/en/2-text/122-determination-of-the-ecological-state-of-the-main-source-of-water-supply-of-ukraine> (дата звернення: 10.03.2020).
4. Bezsonnyi V., Tretiyakov O., Kholmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir (Дослідження динаміки та моделювання кисневого режиму Червонооскільського водосховища). *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2017. № 5/10(89). Pp. 32-38. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546> (access date: 10.03.2020).
5. Безсонний В. Л., Третяков О. В., Кравчук А. М., Стаценко Ю. Ф. Прогнозування кисневого режиму річки Сіверський Донець методами математичного моделювання. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*: зб. наук. праць. Серія: Безпека життєдіяльності. Дніпро, ДВНЗ «Піднепр. держ. академія буд-ва і архітектури», 2016. Вип. 93. С. 113-119.
6. Мокін Б. І., Мокін В. Б., Мокін О. Б. Математичні методи ідентифікації динамічних систем: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 260 с.
7. Роголев 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. Третяков О. В., Безсонний В. Л., Пономаренко Р. В., Бородич П. Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневій водойми. *Проблеми надзвичайних ситуацій*, 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 (дата звернення: 10.03.2020).
9. Карта Моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index> (дата звернення: 10.03.2020).
10. 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. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.

Ponomarenko R., Plyatsuk L., Tretyakov O., Cherkashyn O., Zat'ko J.

FORECASTING OF OXYGEN MODE OF SURFACE SOURCES IN CONDITIONS OF THE WATER ECOSYSTEM OF THE DNIPRO BASIN

The adequacy of the predictive mathematical model for forecasting oxygen regime conditions in the Dnipro basin is determined on the basis of the classic Streeter-Phelps model by retrospective analysis of the Dnipro oxygen parameters with further verification of the adequacy of the Streeter-Phelps model for the Dnipro basin conditions. Method. A retrospective analysis was conducted according to the data on the control of water intake on the Dnipro within the framework of the Basin Water Management at 12 posts. The studies were carried out using a two-component model of Streeter-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 Streeter-Phelps model) has been improved by supplementing the correction coefficients, which allows to predict with sufficient accuracy the change of the Dnipro ecological state. 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. Further consideration of a larger number of components of the model may be the subject of research towards determining operational methods for controlling the change in the ecological status of the surface source.

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

REFERENCES

1. Marynych, O. M., Shyshhenko, P. G. (2005). *Fizychna geografiya Ukrainy*: Pidruchnyk. K.: Znannya, 128.
2. Savchuk, D. (2003). Ekologichni ta ekonomichni aspekty funkcionuvannya Dniprov'skyh vodoshovyshh. *Ekologichnyj visnyk*, 5-6, 24-26.
3. Ponomarenko, R. V., Pljacuk, L. D., Tretyakov, O. V., Koval'ov, P. A. (2019). Vyznachennja ekologichnogo stanu golovnoho dzherela vodopostachannja Ukrainy. *Tehnogenno-ekologichna bezpeka*, 6(2/2019), 69-77. Available: <http://jteb.nuczu.edu.ua/en/2-text/122-determination-of-the-ecological-state-of-the-main-source-of-water-supply-of-ukraine>.
4. Bezsonnyi, V., Tretyakov, O., Khalmuradov, B., Ponomarenko, R. (2017). Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 5/10(89), 32-38. Available: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546>.
5. Bezsonnyj, V. L., Tretyakov, O. V., Kravchuk, A. M., Stacenko, Ju. F. (2016). Prognozuvannya kysnevoho rezhymu richky Sivers'kyj Donec' metodamy matematychnogo modeljuvannya. *Budivnyctvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannya: zb. nauk. prac'. Serija: Bezpeka zhyttjedijal'nosti. Dnipro, DVNZ "Pridnepr. derzh. akademija bud-va i arhitektury"*, 93, 113-119.
6. Mokin, B. I., Mokin, V. B., Mokin, O. B. (2010). *Matematychni metody identyfikacii' dynamichnyh system: navchal'nyj posibnyk*. Vinnycja: VNTU, 260.
7. Rogalev, A. N. (2012). Determinirovannye i stohasticheskie metody ocenki kachestva vody v uslovijah neopredelennosti. *Raspredeleennyje informacionnye i vychislitel'nye resursy (DICR-2012): materialy XIV konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Institut vychislitel'nyh tehnologij Sibirskogo otdelenija RAN*, 101-112.
8. Tretyakov, O. V., Bezsonnyj, V. L., Ponomarenko, R. V., Borodych, P. Ju. (2019). Pidvyshhennja efektyvnosti prognuzuvannya vplyvu tehnogennoho zabrudnennja na poverhnevi vodojmy. *Problemy nadzvychajnyh situacij*, 29, 61-78. Available: http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/8881/1/%D0%9F%D0%9D%D0%A1%201_2019.pdf.
9. Karta Monitoryngu ta ekologichnoi' ocinky vodnyh resursiv Ukrainy. Derzhavne agentstvo vodnyh resursiv Ukrainy. Available: <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>.
10. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2007). DSTU 4808:2007. Dzherela centralizovanogo pytnogo vodopostachannja. Gigijenichni ta ekologichni vymogy shhodo jakosti vody i pravyla vybyrannja : nadano chynnosti nakazom Derzhspozhyvstandartu Ukrainy vid 05.07.07 r. №144. Kyi'v, 39.