

УДК 574.632 (09)

**Гриб Й. В., д.б.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Климнюк О. М., аспірант** (Інститут гідробіології НАН України, м. Київ), **Бузевич І. Ю.** (Інститут рибного господарства НАН України, м. Київ), **Михальчук М. А., ст. викладач** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

### **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ЗАМОРНИХ ВОДОЙМ, СКЛАДУ АБОРИГЕННОЇ ІХТІОФАУНИ В ПІДЛІДНИЙ ПЕРІОД І ЇЇ ВІДНОВЛЕННЯ**

**Досліджено специфічні екологічні умови формування газового режиму в заморних водоймах України, а також можливі заходи відновлення їх рибопродуктивності.**

**Ключові слова:** розчинений кисень, дифузія, реаерація, погодні умови, замори риб, кисневий баланс.

Характеристикою стійкості водної екосистеми є співвідношення маси розчиненого кисню, інтенсивності реаерації до його споживання водним середовищем. Для аборигенної іхтіофауни стійкість екосистеми визначається співвідношенням кількості проміжних зон (екотонів) до кількості стресових ситуацій [2-8, 12].

Кисневий режим поверхневих вод є одним з основних чинників, що регулюють життя водного середовища. Причиною скорочення чисельності і різноманіття реофільних видів риб в річковому і озерному комплексі є наслідком порушень кисневого режиму поверхневих вод [12].

Основними чинниками, що порушують кисневий режим поверхневих вод є:

а) гідрометеорологічний – маса атмосферних опадів в зимову межень ( $n$ ), що визначають глибину промерзання ґрунту і, відповідно, склад ґрунтових і болотних вод; температура повітря в зимову межень, від величини якої залежить товщина льодового покриву, що визначають можливу аерацію і промерзання ґрунту і боліт, а також витрати води в створі спостереження, що визначають запас (масу депонованого розчиненого кисню) [4];

б) антропогенний чинник – надходження недостатньо очищених стічних вод, їх маса і кількість домішок (розчинних органічних речовин і суспензій), які споживають розчинний кисень ( $q_{ст\Theta}$ ), а також сумарна характеристика цього споживання ( $q_{стL}$ ) [4, 6, 15, 16].

За відношенням до вищої ланки трофічного ланцюга водного середовища для аборигенної іхтіофауни характерні кризові стани (замори риб) через дефіцит розчиненого кисню і їх можна розглядати як чинник, що формує екологічні сукцесії макроекосистем, регулюючи чисельність і масу іхтіофауни (концепція природного відбору Ч. Дарвіна).

**Актуальність проблеми** зимових заморів риб в поверхневих водах загострилася у зв'язку з дефіцитом розчиненого кисню в русловому Київському водосховищі, що замикає в себе річковий стік басейнів рік Дніпра, Прип'яті, Ужа, Тетерева, Трубежа, що спричинив масову загибель маткового поголів'я аборигенних видів риб. При льодоставі, що почався в грудні 2009 р. (кінець III декади березня 2010 р.), вже в лютому 2010 р. в гирлі р. Прип'ять вміст розчиненого кисню був на рівні  $2,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ , а при виході з Київського водосховища (придонний відбір), – на рівні  $0,8 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$  (при допустимому рівні  $4,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ). Прийняте рішення по забезпеченню оптимального режиму розчиненого кисню шляхом зміни рівнів води у водосховищі не дало позитивних результатів. 40,0% водного дзеркала, що становлять мілководдя водосховища, виявилось придавленим суцільним 70 см шаром льоду, утворивши ізольовані множинні водні сегменти, збіднені розчиненим киснем. Навіть при відкритому дзеркалі води в р. Дніпро нижче водосховища в районі м. Києва розчинений кисень у кінці льодоставу при чистій воді був на рівні  $2,0\text{-}3,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ . Це поставило завдання оптимізації водокористування і управління станом водного середовища в підлітний період.

Теоретична концепція аерації і споживання кисню водним середовищем.

Відомо, що у водному об'єкті проходить постійний процес аерації і споживання розчиненого кисню. Згідно із законом Генрі, розчинність газу в рідині при постійній температурі прямо пропорційна його парціальному тиску, під яким знаходиться рідина. Тиск атмосферного повітря складається з суми парціальних тисків складових його газів, кисню, вуглекислого газу, азоту, благородних газів: закон Генрі для розчинності газу в рідинах має вигляд

$$C_{\text{газу}} = K \cdot P, \quad (1)$$

де  $K$  – розчинність газу,  $P$  – парціальний тиск рівний його вмісту в атмосфері.

У ідеальних умовах, якщо вміст розчиненого кисню у воді менший ніж передбачено законом Генрі, то відбуватиметься його надходження (дифузії) з атмосферного повітря. Слід зазначити, що дифузія кисню у воду є досить повільним процесом при відкритому водному дзеркалі і

стагнації, вирівнювання дисбалансу може йти тривалий час, (1–2 доби) в той час у водному середовищі відбуваються більш інтенсивні процеси фотосинтезу (за рахунок життєдіяльності мікрободоростей і вищих водяних рослин у вегетаційний період), а також споживання (за рахунок окислення розчинених органічних речовин, окислення донних відкладень і дихання риб) [1, 8].

Крім того, вміст розчиненого кисню у воді має добову динаміку (зниження в ранкові години за рахунок темного дихання фітомасою ВВР), зростання до 12 години дня і його зниження в вечірній час. Залежність процесу споживання розчиненого кисню від аерації виражається формулою Фелпса – Сриттера [14-17]

$$\frac{dD}{dt} = -K_2 D, \quad (2)$$

де  $D$  – дефіцит розчиненого кисню, що не вистачає до 100,0% насичення;

$t$  – час;

$K_2$  – константа аерації, яка залежна від відкритості водного дзеркала, швидкості руху води, глибини водойми, шорсткості ложа, формування хвиль та ін. умов [4, 6]. У зимових умовах, при встановленні льодового покриву, аерація наближається до "0", понижена також фотосинтетична діяльність (практично до нуля при порушенні прозорості льоду через сніговий покрив).

Для балансових розрахунків можемо використати зворотну величину реаерації – фактичний вміст маси розчиненого кисню ( $\Theta$ ), що змінюється в часі:

$$\frac{d\Theta}{dt} = K_2^1 \cdot \Theta, \quad (3)$$

де  $K_2^1$  – коефіцієнт, що визначає можливе надходження розчиненого кисню за рахунок реаерації, тріщин в льоду, впливу додаткової мережі, виражається тангенсом кута нахилу кривої споживання кисню в часі.

При цьому для попередження наближення до екологічно допустимого порогу розчиненого кисню – 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, необхідно, щоб його фактичний вміст ( $\Theta$ ) не падав нижче цієї величини і щоб дотримувалася рівність

$$\frac{d\Theta}{dt} = K_2^1 \cdot (\Theta - 4,0). \quad (4)$$

Математичне вираження процесу споживання розчиненого кисню на життєдіяльність екосистеми (окислення) має вигляд:

$$\frac{dL}{dt} = K \cdot L, \quad (5)$$

де  $L$  – величина БСКповн.  $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ ;  $t$  – час;  $K$  – константа споживання розчиненого кисню, що має певне значення для окислення різних з'єднань: органічної речовини стічних вод – 0,1; господарчо-побутових стічних вод – 0,2-0,3; відмерлий фітопланктон – 0,01-0,05; гумініфіковані відкладення – 0,001 [4, 6]. Тут не враховується дифузія двовалентного марганцю, що поступає з донних відкладень при дефіциті кисню, виділення метану і сірководню, токсичних для риб.

Доведено, що окислення донних відкладів забирає до 30,0% маси розчиненого кисню, розчинена у воді органічна речовина – до 30,0%, дихання риб – до 30,0% [13, 14]. Тому в закритих водоймах з малою проточністю та великою інтенсивністю окислення утворюється дефіцит розчиненого кисню.

Крім цього, надходження закисних форм заліза і марганцю з глибоких горизонтів боліт ініціює порівняно інтенсивніше споживання розчиненого кисню і саме вони визначають в поліських водоймах кисневий режим не лише в підлітній період, а і у літній, за рахунок надходження дренажних вод в період літньої межени (р. Прип'ять, створ смт Ратне) [3-5]. На низьку ефективність дифузії кисню з атмосфери у водне середовище в зимовий період вказує у своїх дослідженнях Тимченко В.М. [11]. Внаслідок переважання процесів споживання над аерацією в зимову межень в Київському водосховищі упродовж 1965-1985 рр. постійний вміст розчиненого кисню був нижчий регламентованого ( $4,0 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ). У зимову межень 1999 р. впродовж 2 місяців вмісту розчиненого кисню було нижче 17,0% насичення (до  $2,4 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ).

У зимових умовах поліпшення кисневого режиму може бути досягнута за рахунок збільшення витрат води і збільшення площі пригребельної ділянки або зміни рівневого режиму водного дзеркала (для мілководних ділянок водосховищ), що може розглядатися як послаблення явищ замору риб. Для ухвалення рішень по компенсаційних заходах, необхідно розглянути абсорбцію водним середовищем розчиненого кисню (РК).

Різниця концентрації кисню в атмосферному повітрі і розчиненого у воді представляє рушійну силу процесу масопередачі газу. Швидкість переходу речовини пропорційна поверхні зіткнення фаз "повітря-вода".

Рівняння масопередачі має вигляд:

$$M = K \cdot F \cdot \Delta, \quad (6)$$

де  $M$  – кількість газу, що переходить з однієї фази в іншу, мг/сек;  
 $K$  – коефіцієнт масопередачі;  
 $F$  – площа поверхні зіткнення фаз атмосферного повітря і водного середовища, м<sup>2</sup>;

$\Delta$  – рушійна сила процесу масопередачі.

Якщо  $\Delta$  виражається у вигляді різниці об'ємних концентрацій, мг/дм<sup>3</sup>, то

$$\Delta = C^* - C, \quad (7)$$

де  $C$  – фактична концентрація компонента у водному середовищі;

$C^*$  – рівноважний вміст в тій же фазі.

В порівнянні з повітряним середовищем дифузія кисню у воді відбувається приблизно в 320 разів повільніше [1, 5, 8]. За відсутності течії і вітрового перемішування надходження кисню у воду за рахунок дифузії складає 1,0-2,0 г/м<sup>2</sup> за добу або при глибині 1,0 м у водному середовищі його вміст складає 1,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Наприклад, при  $t = 0$  °С і допустимого вмісту атмосферного кисню у воді 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> рушійна сила дифузії складе:

$$\Delta = 14,0 - 4,0 = 10,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3. \quad (8)$$

При площі контакту  $F = 0$ , то і кількість кисню, що перейшов з атмосферного повітря у воду дорівнює 0. Тобто маємо подібний стан під товщею льоду.

Вирішення питання реаерації може бути досягнуте при збільшенні площі контакту в системі "газ – рідина" величини  $F$  (барботування, турбулентне перемішування) або знищення льодового покриву.

При цьому перенесення речовини атмосферного повітря в рідині (воді) здійснюється шляхом молекулярної дифузії, проте і тут однією із складових балансу є площа контакту двох фаз.

Для забезпечення оптимально прийнятного кисневого режиму в підлідній період необхідно, щоб відношення навантаження на водний об'єкт за органічною речовиною і його окислювальна здатність були хоч би рівнозначними, тобто:

$$St = \frac{\text{навантаження за органічною речовиною}}{\text{окислювальна потужність}} = \frac{\sum K \cdot L}{\sum K_2^1(\Theta - 4,0)} =$$

$$= \frac{\sum K \cdot L_{\text{ст.вод}} + \sum K \cdot L_{\text{ззак.ф}} + \sum K \cdot L_{\text{нов}} + \sum K \cdot L_{\text{мул}} + \sum K \cdot R_{\text{риб}}}{\sum K_2^1(\Theta - 4,0)}$$

$$= \frac{q \cdot K \cdot L + K \cdot L_{\text{зак.форм}} \cdot C_{\text{ме}} + Q \cdot K \cdot L_{\text{нов}} + K \cdot L \cdot M_{\text{мул}} + K \cdot R \cdot m_{\text{риб}}}{K_2^1(\Theta - 4,0) \cdot Q + K_2^1(\Theta - 4,0) \cdot Q_{\text{прил.мереж}}}, \quad (9)$$

Підтвердженням факту відставання інтенсивності реаерації від споживання розчиненого кисню гідробіонтами і водним середовищем може бути "дзьобкування" риб в літній період (заковтування повітря рибами), що знаходиться у болотних водах з колірністю до 200° за кобальтоплатиновою шкалою і ХСК 80,0-100,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. При штильовій сонячній погоді і температурі +23°С (100,0% насичення киснем) складає 8,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, і коефіцієнт споживання кисню К= 0,2 і БСК<sub>5</sub> = 38,0 мг/дм<sup>3</sup>, фактичному вмісті розчиненого кисню 1,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, коефіцієнт реаерації складає:

а) добове споживання розчиненого кисню водним середовищем:

$$0,2 \times 38,0 = 7,6 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3;$$

б) фактичний вміст розчиненого кисню у воді = 7,6 × 1,2 = 8,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

в) надходження кисню за рахунок реаерації: 8,8 – 8,0 = 0,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

Тобто надходження розчиненого кисню за рахунок реаерації (дифузії), за рахунок контакту в системі "атмосферне повітря – вода" складе лише 10,0% до загальної маси або К<sup>1</sup> ≤ 0,1. Це при відкритій водній поверхні і без урахування фотосинтезу (визначення проводили до 12,0 години дня).

При темновому диханні і в передранкові години дефіцит кисню спостерігатиметься в парцелах ВВР за рахунок його споживання макрофітами і мікроводоростями, та ж картина і коефіцієнт реаерації (К<sub>2</sub>) буде менше 0,1 при К споживання > 0,2. Ситуація відновлюється тільки з 8,0-10,0 години ранку за рахунок фотосинтезу тих же ВВР, тобто дотримуватиметься дві умови:

а) ранкові години, темнове дихання після ночі

РК < 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; К<sup>1</sup><sub>ра</sub> < 0,1; відбувається споживання кисню фітотомасою мікроводоростей, планктоном, водним середовищем, муловими відкладеннями і на дихання риб, (замори риб).

б) з 12,0 години дня РК > 4,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>; К<sup>1</sup><sub>ра</sub> > 0,1 + фотосинтез, те ж споживання РК планктоном, водним середовищем, муловими відкладеннями, на дихання риб, стан стабілізується.

#### **Об'єкти і методи досліджень.**

Дослідження проведені у верхів'ях р. Прип'ять (створ смт Ратне), гирлова ділянка р. Горинь (правобережна притока першого порядку р. Прип'ять); Київському водосховищі, заплавних озерах басейну р. Прип'ять, Скоринь, Рогізне, Огрядне. Одамбування русла

р. Прип'ять у верхній і нижній течії, протяжністю більше 330,0 км, змінило гідрологічний режим екосистеми "русло – заплава" і зв'язок русла із заплавами екотонами. Крім того, на Прип'ятській низовині сталося пониження рівня ґрунтових вод на 0,5-0,6 м (матеріали космічного зондування) і відповідно відступи водного дзеркала озер від бровки берега. При промерзанні боліт їх живлення здійснюється ґрунтовими і підґрунтовими водами, що поступають з глибших горизонтів, які виносять закисні форми заліза і марганцю, активно споживаючих розчинений кисень при їх окисленні. Низький вміст розчиненого кисню обумовлює формування складу аборигенної іхтіофауни, адаптованої до дефіциту розчиненого кисню і порушення співвідношення "хижак – жертва", переважаючого розвитку карася сріблястого і ліна.

Досліджувані озерні екосистеми мали наступну характеристику (табл. 1).

Таблиця 1

**Морфометричні і гідрологічні характеристики досліджуваних водоемів**

Найменування водного об'єкту	Площа водного дзеркала, га (мілководдя),%	Площа водозбору, км <sup>2</sup>	Середня глибина, м	Максимальна глибина, м	Характеристика
Озера:					
Рогізне	115,0(80,0)	27,0	1,11	2,0	Заморене озеро
Тучне	37,5 (60,0)	14,0	2,87	8,0	-
Скоринь	172,5 (95,0)	66,0	0,76	1,7	Заморене озеро
Київське водосховище	92,2·10 <sup>3</sup> (40,0)	6,4·10 <sup>7</sup>	4,0	14,5	Заморене водосховище (мілководдя)

Методи дослідження: апробовані іхтіологічні, гідроекологічні. Розчинений кисень визначали йодометричним методом Вінклера. Реакцію водного середовища (рН) – колориметричним методом, колірність за кобальто-платиною шкалою. Температуру води – ртутним термометром. Проби води відбирали батометром. Глибину вимірювали за допомогою лота (диска Секкі).

**Отримані результати і обговорення.**

У річковій мережі в підлідний період визначальним чинником, що формує кризові ситуації був гідрометеорологічний, обумовлений вертикальним градієнтом температур  $t/n$ , де  $t$  – середньомісячна температура повітря зимової межени, °С;  $n$  – товщина льодового і снігового покриву, мм;  $\Delta$  – вирівнюючий коефіцієнт теплопровідності, мм/°С. Ця величина визначає умови перекриття поверхні водного дзеркала за рахунок льодового і снігового покривів – чим холодніше зима і більші

атмосферні опади, тим сильніше ізольованим буде водне середовище, тим меншою буде інтенсивність реаерації.

Співвідношення окислювального навантаження до окислювальної здатності водного об'єкту на межі замору визначає стійкість водної екосистеми і описується рівнянням :

$$St = \frac{(K_1 \cdot L_1 \cdot q_{cm} + K_2 \cdot L_2 \cdot Q_p + K_3 \cdot L_3 \cdot Q_{ep}) \cdot t}{K_2^1 (\Theta - 4,0) \cdot Q_p} \cdot \frac{t}{n} \Delta \quad (10)$$

для непроточного водного об'єкту (озера) співвідношення буде мати такий вигляд:

$$St = \frac{(K_1 \cdot L_1 \cdot q_{cm} + K_2 \cdot L_2 \cdot Q_{oz} + K_3 \cdot L_3 \cdot Q_{ep}) \cdot t}{K_2^1 (\Theta - 4,0) \cdot Q_{oz}} \cdot \frac{t}{n} \Delta, \quad (11)$$

де  $K_1 L_1 q_{cm}$  – коефіцієнт споживання кисню, БСК<sub>5</sub> і об'єм стічних вод, що поступають в озеро або непроточний водний об'єкт;

$K_2 L_2 Q_p$  а для озера " $Q_{oz}$ " – споживання розчиненого кисню річковою (озерною) водою;

$K_3 L_3 Q_{гр}$  – маса домішок, що поступають з ґрунтовим стоком;

$K_2^1 (\Theta - 4,0) Q_p$  – коефіцієнт реаерації, маса розчиненого кисню, яке річка може віддати на окислення без виникнення кризових ситуацій у водному середовищі;

$K_2^1 (\Theta - 4,0) Q_{oz}$  – відповідно, маса депонованого розчиненого кисню, яку озеро може віддати на окислення домішок і на дихання риб.

Таблиця 2

Фактичний вміст розчиненого кисню в зимову межень у воді озер і водосховища (нормоване значення  $\geq 4,0$  мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (насичення %)

Назва водного об'єкту	pH	Січень	Березень	Стан
Рогізне	7,40	2,30/16	0,70/5	Дефіцит, рк
Тучне	6,40	3,30/23	1,30/2	Дефіцит, рк
Скоринь	5,70	2,00/14	0,80/6	Дефіцит, рк
Київське водосховище:				
мilkоводдя, верхів'я, нижній б'єф	6,90	1,10/5	0,80/6	Дефіцит, рк
	7,20	2,00/14	1,80/12	Замор, рк
	6,50	1,90/13	2,00/14	Дефіцит, рк
Гирло р. Прип'ять	6,60	3,20/22	2,00/14	Дефіцит, рк
Гирло р. Горинь	6,90	4,3/30	3,300/23	Зимові міграції, дефіцит рк

рк – розчинений кисень.



Таблиця 3

Стійкість досліджуваних водних екосистем (St) в зимову межень (лютий 2010 р.)

Назва водного об'єкту	Стійкість по кисневому режиму. $St = \frac{O_2 \text{ факт}}{O_2 \text{ опт}}$	Стійкість по меженими екотонами, $St = \frac{\sum n \text{ екотонів}}{\sum n \text{ стрес.факторів}}$
Озера		
Рогізне	0,58	0,60
Тучне	0,82	0,80
Скоринь	0,20	0,30
Київське водосховище:		
мілководдя	0,50	10,0
верхів'я	0,25	0,30
нижній б'єф	0,20	0,40
Гирло р. Прип'ять	0,50	1,20
Гирло р. Горинь	0,70	6,0

Значення еталону стійкості для річкових систем більше 20,0 ( $St > 20,0$ ), для озерних – більше 5,0 ( $St > 5,0$ )

**Особливості формування кисневого режиму заплавної озера басейну р. Прип'ять (Скоринь, Рогізне, Тучне).**

У підлітний період коефіцієнт реаерації  $K^1_2$  практично нульовий і у разі забруднення річка може жити тільки розчиненим киснем приток і пережити межень. Інша річ озеро, тут життєвий газовий ліміт розрахований досить жорстко і закінчується через 2-3 тижні після початку льодоставу, а розчинений кисень знаходиться на відмітці 0,8-1,5 мг $O_2$ /дм<sup>3</sup> за рахунок можливих джерел аерації – дифузії через тріщини в льоду при фотосинтезі мікрободоростей.

Особливості кисневого режиму в підлітний період досліджені при крайніх значеннях отриманих концентрацій (формула 10).

Позначимо навантаження на водний об'єкт через "P" при стабільному гідроекологічному і кисневому режимі  $Q_{const}$  (ізоляція водного об'єкту) :

а) якщо навантаження максимальне ( $P_{max}$ ) при  $Q_{const}$  їх співвідношення складає:

$$\frac{P_{max}}{Q_{const}} = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (12)$$

При цьому вміст розчиненого кисню падає. Для управління ситуацією необхідно зменшити навантаження і збільшити окислювальний потенціал (штучна аерація) [9,10], це ми спостерігаємо в заплавах озер;

б) якщо навантаження мінімальне ( $P_{min}$ ) при  $Q_{const}$

$$\frac{P_{min}}{Q_{const}} = 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; i.m.d. \quad (13)$$

Для управління ситуацією необхідно зменшити навантаження, оптимізувати газовий режим (поліпшення роботи споруд біологічного очищення стічних вод, ліквідація локальних скидів, вилучення накопиченої фітомаси ВВР, попередження депонування твердого стоку);

в) якщо навантаження постійне у межах характеристик води I-III класу ( $P_{const}$ ) і окислювальна здатність велика (наявність реаерації за рахунок приток) :

$$\frac{P_{const}}{Q_{max}} = 3; 2; 1; 0,9; \dots 0,1 \quad (14)$$

кисневий режим водного об'єкту відновлюється, оптимальний варіант. Це ми бачимо на прикладі озера Світязь;

г) якщо навантаження постійне ( $P_{const}$ ) і окислювальна здатність маленька (донні випуски водосховищ, малі витрати води):

$$\frac{P_{const}}{Q_{min}} = 1,0; 2,0; 3,0; \dots 5,0 \quad (15)$$

кисневий режим погіршується. Це ми бачимо на прикладі евтрофікації водних об'єктів.

Розглянуті версії формування кисневого режиму дали можливість вивести залежність "вміст розчиненого кисню – стійкість біоти" ( $O_2 - St$ ), а також отримати графіки формування кисневого режиму в річці після локального забруднення і в непроточній водоймі залежно від гідрометеорологічних умов, товщини льодового покриву і температури повітря (щодокадний) (рис. 1, 2).

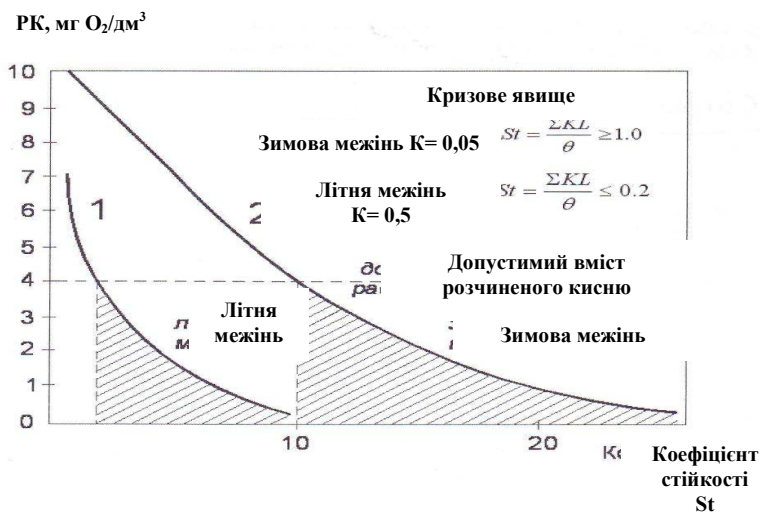


Рис. 1. Залежність кисневого режиму у водному об'єкті від стійкості екосистеми: 1 – період літньої межені; 2 – період зимової межені

**Залежність вмісту розчиненого кисню в річковій воді від стану басейну.** Досліджувалася р. Прип'ять при проведенні гідротехнічних робіт (випрямлення, осушувальні роботи) і після них. Спостерігалася залежність між вмістом органічних речовин і витратами води ( $C_{\text{орг}}$  і  $Q$ ), при цьому інтенсивніше зниження вмісту розчиненого кисню було під впливом надходження у водне середовище загального заліза (окисного і закисного). Стан покращувався після промиву русла зі зменшенням надходження  $C_{\text{орг}}$  і  $Fe_{\text{заг}}$  (рис. 2).

Проте із-за малих витрат води в зимову межень кисневий режим в річці був порушений ( $<2,0$  мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Були проаналізовані чинники аноксії, що формують явища, в підлідний період (таблиця 4).



Рис. 2. Залежність вмісту розчиненого кисню в неперотчному водному об'єкті від товщини льоду (1) і тривалості льодоставу (2), а також товщини льоду від температури повітря – t °C (3)

Очікуваний прогноз. Стає зрозумілим, що формування стійкого льодового покриву, і живлення неперотчних замкнених водойм за рахунок вод з глибоких горизонтів боліт є визначальними чинниками і носять дискретний характер. У заплавах заболочених водойм в зимовий період дефіцит розчиненого кисню при  $K_{\text{спож}}=0,4$  настає за 2-3 тижні і визначається масою води та масою кисню, що депонується.

Таблиця 5

Чинники, що формують явища аноксії риб в зимовий період

Фактори	Максимальне значення, що спостерігається	Коефіцієнт парної кореляції	Вірогідність	Функціональна залежність
Навантаження по органічній речовині, по БСК <sub>5</sub> мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	25,0*10 <sup>9</sup> проти 5,0*10 <sup>9</sup> в роки з оптимальним режимом	+0,86	0,896	Визначає споживання розчиненого кисню
Витрати води в річці, мінімальні, м <sup>3</sup> /с	В два рази нижче середньомісячних	+0,54	0,811	Визначає масу розчиненого кисню, що вноситься у екосистему

продовження табл. 5

Розчинений кисень, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	1,60	+0,84	0,960	Функціональна залежність від сумарного споживання розчиненого кисню водним середовищем
Товщина льодового покриву, см	до 80,0	+0,90	0,950	Призводить значення коефіцієнта реаерації K <sup>1</sup> до нуля
Атмосферні опади в період зимової межені, мм	В 5 раз нижче значення в роки з оптимальним режимом (10,0 мм проти 46,0 мм)	-0,87	0,998	Визначає глибину промерзання ґрунту, рівень надходження ґрунтових вод, товщину льоду
Температура атмосферного повітря	-28,0 °С	+0,59	0,999	Визначає можливість формування льодового покриву і глибину промерзання ґрунту
Токсичні домішки за хлорфенольними сполуками	Підпорогова концентрація	+0,43	0,943	Впливають на інтенсивність дихання риб

**Примітки:** Як показав проведений аналіз, до впливу гідрометеорологічного чинника можна зарахувати кількість атмосферних опадів в осінній період, що передує зимовій межені, і визначальний рівень ґрунтових вод.

Підтвердженням концепції впливу закисних форм заліза і марганцю на кисневий режим водойм в зимовий період є проникнення в оз. Рогізне талих вод з прилеглої меліоративної системи. Маса розчиненого кисню, що депонувалася, не змогла окислити закисні форми металів, органіки, внаслідок чого виник дефіцит кисню.

У річковій мережі, незважаючи на наявність притокових і джерельних вод, дефіцит розчиненого кисню формується на сотні кілометрів за течією і призводить до фактичного знищення аборигенної іхтіофауни, що знаходиться в зимувальних ямах. Зрозуміло, що гирлові ділянки додаткової мережі, які не трансформовані господарською діяльністю, є рятівними природними локалітетами.

Враховуючи визначальне значення у формування заморів, утворення льодового покриву і кількість атмосферних опадів, можливе про-

гнозування виникнення кризових ситуацій в поверхневих водах за циклічністю погодних умов (холодних зим).

Ця циклічність приурочена до 11-12 літніх циклів сонячної активності, що визначається за чисельністю плям на Сонці (числа Вольфа), які впливають з певною періодичністю на характер земних погодних умов (температуру повітря, кількість атмосферних опадів) [4].

Заморний стан спостерігали зазвичай в екстремальні періоди 11 – літніх циклів сонячної активності або 1-2 роки після максимуму.

Як показала практика, очікувані зміни гідрометеорологічного чинника можна спостерігати в період максимумів і мінімумів сонячної активності або при циклічності 4 роки, що можна використати для прогнозу кризових ситуацій у водних екосистемах в підлітній період.

Такими роками були: 1953, 1957, 1961, 1965, 1969, 1973, 1977, 1981, 1985, 1989, 1993, 1997, 2001, 2005, 2009. Такими роками будуть: 2013, 2017, 2021, 2025, 2029, 2033, 2034, 2039, 2043, 2047, 2051, 2055, 2059, 2063 і так далі, якщо не пройдуть глобальні зміни, пов'язані з іншими циклами, або кліматичні катаклізми.

#### **Старіючі водосховища.**

Враховуючи тривалий період повного водообміну каскаду дніпровських водосховищ і значну накопичену масу органічної речовини, оптимально прийнятний кисневий режим може спостерігатися тільки в придатковій річковій мережі. Якщо раніше вважалося, що в молодості водосховищ зарості вищих водних рослин, мілководь, як страховий запас надходження кисню у водний об'єкт від фотосинтезу сьогодні не можуть враховуватися через наявність в цій зоні значної маси відкладів рослинного характеру і супутніх виділень при цьому сірководню і метану, де кисневий баланс в такому об'єкті буде формуватися із наступних складових:

$$St = \frac{(K_1 L_1 Q_{\text{водосх}} + K_2 L_2 Q_{\text{приток}} + K_3 M_{\text{біовБВ}} L + K_4 \cdot L \cdot M_{\text{илос}} + K_5 \cdot R \cdot M_{\text{зррьд}}) \cdot \left(\frac{t\Delta}{n}\right)}{K_2^1 (\Theta - 4) Q_{\text{водосх}} + K_2^1 (\Theta - 4) Q_{\text{приток}}} \quad (16)$$

Приведемо орієнтовний розрахунок кисневого балансу Київського водосховища на початок березня 2010 р.

Таблиця 5

Баланс розчиненого кисню в Київському водосховищі за період зимової межні 2009-2010 рр. (на початок березня 2010 року)

Характеристики	Маса розчиненого кисню, г	Споживання розчиненого кисню, г	%
Розчинений кисень мг O <sub>2</sub> дм <sup>3</sup>	33,6×10 <sup>9</sup>	26,9×10 <sup>9</sup>	80,0
Розчинена органічна	8,4 млрд м <sup>3</sup>	4,2-10 <sup>9</sup>	11,2
Мул верхніх шарів, 5 см, повітряно-суха маса, т	461000,0	9,0-10 <sup>9</sup>	28,0
Вищі водяні рослини, т	77360000	3,7-10 <sup>9</sup>	11,1
Риба, кг	992000	10,0-10 <sup>9</sup>	28,7
Винесення водною масою	8,4 млрд м <sup>3</sup>	6,72-10 <sup>9</sup>	20,0
Дефіцит			

Вихідні розрахункові дані: площа водного дзеркала Київського водосховища при НІПР – 92,2 тис. га, площа мілководь – 33,88 тис. га (40,0% водного дзеркала); об'єм водної маси 3,7 млрд м<sup>3</sup>; об'єм витікаючої води – 33,1 млрд м<sup>3</sup> в рік; коефіцієнт водообміну – 9,0.

Для водосховищ встановлюється відмітка, нижче якої не спрацьовується вода – 102,0 м, коливання рівня – не вище 0,8 м, фактично допущений більше 1,0 м; санітарні витрати води 325,0 м<sup>3</sup>/с, скинуто значно більше.

Розрахунок зроблений без урахування маси закисних форм заліза і марганцю, що поступає.

Можливі заходи відвертання масової загибелі аборигенних риб в руслових водосховищах в роки з несприятливими погодними умовами (рис. 3)



Рис. 3. Заходи відвертання масової загибелі риб в поверхневих водах за несприятливих гідрометеорологічних умов

У міру старіння водосховищ в них відбуваються наступні зміни:  
а) накопичення донних відкладів, що вносяться придатковою ме-



режею, а також відмерлої маси вищої водної рослинності.

б) заповнення улоговин наносами і вилуговування дна, обміління, що ліквідує зимувальні ями;

в) розвиток вищої водної рослинності на мілководних ділянках, перетворення їх на малопродуктивні зони із-за наявності сірководню на межі донних відкладів і відмерлої вищої водної рослинності і водного середовища;

г) утворення окремих ізольованих сегментів в зимовий період із-за нерівностей дна і льодового покриття, що осів, при спрацюванні води;

д) утворення в дельтах річок при їх впадінні у водосховища зон відстою аборигенних риб при напруженому кисневому режимі.

Це дає можливість управління ситуацією при загрозі виникнення дефіциту розчиненого кисню.

Особливості формування складу аборигенної іхтіофауни в тих озерах, що підкоряються закономірностям впливу чотирирічних циклів сонячної активності і суворих зимових умов (табл. 7)

Таблиця 7

Особливості формування аборигенної іхтіофауни після зимових заморних явищ у водних об'єктах

Назва водного об'єкта	Відновлення видового складу аборигенної іхтіофауни					
Озера:	1	2	3	4	5	6
Рогізне	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Тучне	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Скоринь	3+	2+	1+	2+	2+	1+
Київське водосховище	Відновлення чисельності іхтіофауни за рахунок додаткової мережі, в першу чергу, Стир-Горинського рибо-відтворювального комплексу [7, 12]					
Гирло р. Прип'ять	Зимова міграція до приток першого і другого ряду [7, 12]					
Гирло р. Горинь						

**Примітки:** Основні види виловлених риб (за матеріалами спостережень Климнюка О.М): 1 – карась сріблястий, 2 – лин, 3 – плітка, 4 – окунь, 5 – карась звичайний, 6 – щука.

\* Наявність аборигенної іхтіофауни в озерах чітко підкоряються чотирирічним циклам повторюваності заморних явищ, обумовленими

гідрометеорологічними умовами, за рахунок адаптованих до дефіциту кисню видів і міграцій в період водопілля.

**Висновки:**

1. Кисневий режим поверхневих вод в підлідний період визначається інтенсивністю навантаження по окислюваній речовині (стічних вод, закисних форм заліза і марганцю, фітомаси відмерлих макрофітів, мулу, розчиненої органічної речовини і споживання розчиненого кисню аборигенною іхтіофауною) і масою розчиненого кисню, що можливе для віддачі його водному середовищу без порушення регламентованих меж ( $4,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ).

2. Гідрометеорологічні умови (температура атмосферного повітря, кількість атмосферних опадів в період межені) є визначальними у формуванні напруженого кисневого режиму в підлідний період. Надходження антропогенних домішок було рівнозначним по силі впливу на виникнення екологічної кризи в цей період.

3. Циклічність у виникненні заморних станів в річковій мережі і поверхневих водах, пов'язана з циклічністю погодних умов (вплив 11 літніх циклів сонячної активності), що дає можливість прогнозу таких явищ.

4. Попередження екологічних криз, пов'язаних з порушенням кисневого режиму, можливо при рішенні комплексу завдань управління водогосподарським комплексом: забезпечення якості води придаткової річкової мережі, видалення маси макрофітів, що накопичилася, створення шляхів міграції риб, використання техніки для аерації води і порушення льодового покриву, дотримання режиму спрацювання водосховищ, вилучення надмірної маси аборигенних видів риб (проведення меліоративного відлову).

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.
2. Бузевич І. Ю. Стабільність іхтіокомплексу як показник раціональності використання водних ресурсів / Бузевич І. Ю., Кузьменко Ю. Т., Спесивий Т. В. // Рибогосподарська наука України. – 2010. – № 4. – С. 42–47.
3. Гриб Й. В. До питання замору риби в поверхневих водоймах Західного Полісся в зимову межень 1969 року / Й. В. Гриб // Охорона природи та раціональне використання природних ресурсів. – К. : Наукова думка, 1970. – С. 87–88.
4. Гриб Й. В. Аналіз заморних явлень в малих реках Західного Полісся / Й. В. Гриб // Гидробиол. журн. – 1973. – № 2. – С. 42–48.
5. Гриб Й. В. Відновна гідроекологія порушених річкових і озерних систем. Навч. посібн. / Й. В. Гриб, В. В. Сондак – Рівне : Волинські обереги, 2007. – 340 с.
6. Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты / Ю. С. Даценко. – М. : ГЕОС, 2007. – 252 с.
7. Драчев С. М. Борьба с загрязненными реками, озерами и водохранилищами промышленными и бытовыми стоками / С. М. Драчев. –

М. : Медгиз, 1960. – 349 с. **8.** Климяк О. М. Циклічність явищ задухи в запла-  
вних озерах Західного Полісся, як фактор природного відбору аборигенної іх-  
тіофауни / Климяк О. М., Гриб И. В. // Наукові записки Тернопільського ра-  
ціонального педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Біологія. – 2 (43). –  
2010. – С. 248–251. **9.** Коненко А. Д. Зимний гидрохимический режим рек По-  
лесья (бас. р. Припять) / Коненко А. Д., Герасевич И. Г., Гриб И. В. – Гидроби-  
ол. журн. – № 3. – К. : 1974. – С. 5–11. **10.** Линник П. Н. Гідроекологічна харак-  
теристика Київського водосховища в екстремальних умовах прояву дефіциту  
розчиненого кисню / Линник П. Н., Морозова А. О., Васильчук Т. О. // Наук.  
зап. Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатю-  
ка. Біологія. – 2 (43). – 2010. – С. 331–334. **11.** Рябов А. К. Искусственная аэра-  
ция природных вод / А. К. Рябов, Л. А. Сиренко. – К. : Наукова думка, 1982. –  
204 с. **12.** Сондак В. В. Іхтіофауна природних водойм Стир-Горинського рибо-  
вдтворювального комплексу (стан та умови відтворення) : автореф. дис., д.б.н.  
/ В. В. Сондак. – Київ, 2010. – 48 с. **13.** Тимченко В. М. Экологическая гидроло-  
гия водоемов Украины. – К. : Наукова думка, 2006. – 382 с. **14.** Харченко Т. А.  
Экологические сукцессии, продуктивность экотонных экосистем и глобальные  
процессы круговорота углерода в биосфере / Т. А. Харченко // Гидробиол.  
журн. – 1998. – № 1. – С. 3–5. **15.** Цыба Н. П. Роль донных отложений в кисло-  
родном режиме Цимлянского водохранилища / Н. П. Цыба // Гидрохимические  
материалы. – 1975. – Вып. 64. – С. 119–126. **16.** Шпет Г. Й. Кисневий режим став-  
ів у зв'язку з інтенсифікацією ставкового рибного господарства / Шпет Г. Й.,  
Фельдман М. Б. // Наук. праці УНДПХ. – Т. VII. – К. : 1960. – С. 50–54.  
**17.** Phelps E. B. Stream Sanitation, New York, 1944. – № 4. – P. 131–141.  
**18.** Streeter H., Wand E., Phelps E. Factors concernend in the phenomena of  
oxidation and reparation, Bull.U.S. Publ. Health. Serv., 1925. – P. 146. **19.** Streeter H.  
The rate of atmospheric reparation of sewage polluted streams, Publ. Health. Rep.,  
1926. – P. 41.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Клименко М. О. (НУБГП)

---

**Hryb Y. V., Doctor of Biological Sciences, Professor** (National University  
of Water Management and Nature Resources Use, Rivne), **Klymniuk O. M.,**  
**Post-graduate Student** (Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine,  
Kyiv), **Buzevych I. Y.** (Institute of Fish Industry of HAN of Ukraine,  
Kyiv), **Myhalchuk M. A., Senior Lecturer** (National University of Water  
Management and Nature Resources Use, Rivne)

## **FEATURES OF OXYGEN MODE FORMATION IN SILT-COVERED RESERVOIRS, ABORIGINAL ICHTHYOFAUNA CONTENT IN ICE PERIOD AND ITS RENEWAL**

**The specific ecological terms of forming of the gas mode are investigated in the silt-covered reservoirs of Ukraine, and also possible measures of proceeding in their fish is the productivity.**

**Keywords:** dissolved oxygen, diffusion, rearing, weather terms, kills of fishes, oxygen balance.

---

**Грыб И. В., д.б.н.,** (Институт гидробиологии НАН Украины, Киев),  
**Клымнюк О. М., аспирант** (Институт гидробиологии НАН Украины, Киев),  
**Бузевыч И. Ю.** (Институт рыбного хозяйства НАН Украины, Киев),  
**Михальчук М. А.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ЗАМОРНЫХ ВОДОЕМОВ, СОСТАВА АБОРИГЕННОЙ ИХТИОФАУНЫ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД И ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

**Исследованы специфические экологические условия формирования газового режима в заморных водоемах Украины, а также возможные меры восстановления их рыбопродуктивности.**

**Ключевые слова:** растворенный кислород, диффузия, реаерация, погодные условия, заморы рыб, кислородный баланс.

---