

## ДЕФІЦИТ ЯКІСНОЇ ВОДИ ДЛЯ РИБАЛЬСТВА В РІЧЦІ УНАВА

Строкаль В.П., Гаць А.К.

Національний університет біоресурсів і природокористування України  
вул. Героїв Оборони, 15, 03041, м. Київ  
[vita.strokal@gmail.com](mailto:vita.strokal@gmail.com), [strocal\\_v@nubip.edu.ua](mailto:strocal_v@nubip.edu.ua)

Дефіцит якісної води для різних видів водокористування в тому числі для риболовлі набуває з кожним роком все більшої актуальності. Це в першу чергу зумовлено зміною клімату, що призвело до осушення багатьох малих та середніх річок, які слугують джерелами водопостачання для великих річок. Іншим фактором що впливає на дефіцит якісної води є постійне розорювання берегів річок, в результаті чого у водойми потрапляє значна частина біогенних речовин. Не менш вагомим фактором погіршення якості води у річках в нинішніх умовах виступають військові дії, що призводять до засмічення річок та їхніх русл, забруднення водойм нафтопродуктами та отруйними речовинами. Всі вище перераховані фактори суттєво вплинули на якість води особливо малих та середніх річок. Саме тому питання дефіциту води є досить актуальним та потребує наукового обґрунтування й аналітичних досліджень.

Новизна наукової роботи полягала, що авторами вперше було застосовано методику розрахунку індикатора водного дефіциту  $WSq$  (Water Scarcity including quality) для річки Унава з метою встановлення водного дефіциту водойми для різних видів риб за показниками кисневого балансу.

Основна мета роботи полягала у розрахунку індексів водного дефіциту водойми р. Унава для різних видів риб за показниками кисневого балансу. Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: (1) визначити основні характеристики водойми та морфометрію у пунктах спостереження (об'єм води, загальна кількість води в річці, ширина та довжина річки, швидкість течії, прогнозований ступінь антропогенного впливу на прибережну зону); (2) оцінити екологічний стан водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>); (3) розрахувати індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у даній водоймі (окунь, судак, товстолобик, щука, коропові види), та показати зміну індексів в динаміці за 2022 та 2024 роки; (4) розрахувати індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках.

В ході власних польових досліджень встановлено, що р. Унава має заболочені численні ділянки, частково замулені прибережні ділянки берегів. Вона є не глибокою, берега вкриті рослинністю, чагарниками та очеретом. З точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств. На р. Унава є три водосховища, які слугують для риболовлі, рекреації й технічних потреб, також одне з них (м. Фастів) – для господарсько-питних потреб.

Проведена оцінка водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>). Встановлено, що концентрація розчиненого кисню у водоймі р. Унава становить від 2,2 до 7,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2022 році, та 4,4-10,4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2024 році. Вміст біологічного споживання кисню у 2022 році становив 8,9-14,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, у 2024 році – 12,8-32,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> при оптимальному значенні для прісноводних річок для коропових категорій риб не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

З врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховано індекси водного дефіциту водойми для певних категорій риб: для окуневих  $WSq_{2022}=0,48$  (високий рівень водного дефіциту) та  $WSq_{2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту); коропові, судак, товстолобик, щука –  $WSq_{2022/2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту).

Рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості – БСК<sub>5</sub> є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава. **Ключові слова:** дефіцит води, риби, забруднення річки, якість води, кількість води, кисневий баланс, точкові та дифузні джерела забруднення.

### Water scarcity for fisheries in the Unava River. Strokal V., Hatz A.

The shortage of sufficient water quality is serious for fishing purposes. This is primarily due to climate change, which has led to the drying up of many small and medium-sized rivers that serve as sources of water supply for large rivers. Another factor affecting the shortage of good water quality is the constant plowing of river banks, which causes a significant amount of nutrients to enter rivers. An equally important factor in the deterioration of water quality in rivers in the current conditions is military operations, which has led to the clogging of rivers and their channels, and the pollution with oil products and toxic substances. All of the above factors have largely affected the water quality, especially of small and medium-sized rivers.

The novelty of this research is that the authors first applied the method of calculating the water scarcity indicator  $WSq$  (Water Scarcity including quality) for the Unava River in order to establish the water scarcity of the river for different fish species based on oxygen balance indicators. To achieve this aim, the following tasks were performed: (1) to determine the main characteristics of the river and morphometry at the water sampling points (water volume, the width and length of the river, current velocity, the degree of anthropogenic impact on the coastal zone); (2) to assess the ecological state of the river based on oxygen balance indicators for 2022 and 2024 for which we used dissolved oxygen content and biological oxygen demand (BOD<sub>5</sub>); (3) to calculate the water scarcity indices ( $WSq$ ) of the river based on the dissolved oxygen indices for specific fish species that are most common in this river (perch, pike

perch, silver carp, pike, carp species), and show the change in the indices between 2022 and 2024; (4) to calculate the water scarcity indices (WSq) of the river based on the BOD5 which is generic for all fish.

Results show that the Unava River has numerous wetlands and partially silted coastal areas on the banks. The river is shallow; the banks are covered with vegetation, shrubs, and reeds. Among pollution sources, we observed that private household plots in rural areas and housing and communal enterprises of the city of Fastiv have the greatest impact on the river (point sources); from diffuse sources of pollution, arable land from both private farms and farms affects the nearby waters. There are three reservoirs that are located along the Unava River, which serve for fishing, recreation and technical needs, and one of them (Fastiv) is for household and drinking needs.

Results show that the concentrations of dissolved oxygen in the Unava River (based on ten sampling sites) ranged from 2.2 to 7.2 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> among the sampling sites in 2022, and from 4.4 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> to 10.4 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> in 2024. Biological oxygen demand (BOD5) in 2022 ranged from 8.9 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> to 14.2 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. This range was 12.8-32.8 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> in 2024. An optimal value of BOD5 for freshwaters for carp categories was no more than 3.0 mgO<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>. This illustrates that for all sampling sites, the water quality, according to BOD5, was not appropriate for growing carp.

Water scarcity indices were calculated for dominant fish types using dissolved oxygen as a water quality parameter (WSq, unitless). Results show that for perch the index of WSq for 2022 was at 0.48 (high water scarcity) while for 2024 this was 0.30 (moderate water scarcity). The results for other dominant fish types (carp, pike perch, silver carp, pike) were as follows: 0.30 for both years 2022 and 2024 (moderate water scarcity). Water scarcity indices were also calculated using the BOD5 as a water quality parameter. But this time, it was generic for all fish because BOD5 thresholds were the same for all studied fish types. Results show that the water scarcity levels exceeded 1, which is an extremely high level: 3.15 for 2022 and 5.63 for 2024. This is because of high BOD5 levels that influence the availability of clean water for fish in the studied river. This indicates that the river has organic pollution, and it affects the amount of available high-quality water for the normal reproduction and functioning of fish in the Unava River. *Key words:* water scarcity, fisheries, river pollution, water quality, water quantity, oxygen balance, point and diffuse pollution sources.

**Постановка проблеми та актуальність дослідження.** Дефіцит якісної води для різних видів водокористування набуває з кожним роком все більшої актуальності. Це в першу чергу зумовлено зміною клімату, що призвело до осушення багатьох малих та середніх річок, які слугують джерелами водопостачання для великих річок. Іншим фактором що впливає на дефіцит якісної води є постійне розорювання берегів річок, в результаті чого у водойми потрапляє значна частина біогенних речовин та інших хімічних меліорантів. Не менш вагомим фактором погіршення якості води у річках в нинішніх умовах виступають військові дії, що призводять до засмічення річок та їхніх русл, забруднення водойм нафтопродуктами та отруйними речовинами. Всі вище перераховані фактори суттєво вплинули на якість води та її доступність для різних видів водокористування [4, 5]. Саме тому питання дефіциту води є досить актуальним та потребує наукового обґрунтування й аналітичних досліджень.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями** полягає у тому щоб виокремити ключові фактор впливу, що зумовлюють дефіцит води для певних видів водокористування, зокрема риболовлі в р. Унава, в межах якої є водосховища та ставки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями дефіциту води займається багато зарубіжних вчених, зокрема досліджували майбутній глобальний дефіцит води для господарських потреб в містах та шляхи його вирішення (He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A.) [6], питання управління водними ресурсами в умовах дефіциту води (Tzanakakis, V. A., Paranychniakakis, N. V., & Angelakis, A. N.) [7], проблеми дефіциту води в сільському господарстві, їхні причин й наслідків і підходів до зменшення ризиків (Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D.) [8].

**Новизна** наукової роботи полягає, що авторами вперше було застосовано методику розрахунку індикатора водного дефіциту *WSq* (Water Scarcity including quality [1]) для річки Унава з метою встановлення водного дефіциту водойми для різних видів риб за показниками кисневого балансу.

**Методологічне та загальнонаукове значення.** Основна мета роботи полягала у розрахунку індексів водного дефіциту водойми р. Унава для різних видів риб за показниками кисневого балансу. Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: (1) визначити основні характеристики водойми та морфометрію у пунктах спостереження (об'єм води, загальна кількість води в річці, ширина та довжина річки, швидкість течії, прогнозований ступінь антропогенного впливу на прибережну зону); (2) оцінити екологічний стан водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>); (3) розрахувати індекси водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у даній водоймі (окунь, судак, товстолобик, щука, коропові види), та показати зміну індексів в динаміці за 2022 та 2024 роки; (4) розрахувати індекси водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках.

Для виконання першого завдання нами використано синтез теоретико-аналітичної наукової інформації вчених (Хільчевський В.К., Гребін В.В., Манукало В.О. [2-3]) та власні польові обстеження.

Друге завдання передбачало аналіз відібраних проб води в 2022 та 2024 році на вміст розчиненого кисню та біологічного споживання кисню – БСК<sub>5</sub>. Проби води з водойми р. Унава у 2022 році були відібрані у вересні, у 2024 році – на початку листо-

пада. Відбір проб води здійснювався відповідно до ДСТУ ISO 5667 «Якість води. Відбирання проб» та Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку перевірки, взяття проб води та проведення їх аналізу». Кожен пункт спостереження включав по три точки відбору проб води. Відбір проб води починався з гирла річки (1 пункт спостереження) і закінчувався впаданням річки до р. Ірпінь (10 пункт спостереження). Всього мали 10 пунктів спостереження, з яких три пункти включали водосховища р. Унава (табл. 1).

Для виконання третього та четвертого завдань нами було використано методику розрахунку індикатора водного дефіциту розроблена європейськими вченими (van Vliet, M.T. et. all, 2017) [1]. Методика дозволяє визначити водний дефіцит, обрахувавши індекси водного дефіциту для водойми, а також інтегрувати показники якісного стану водойми до відповідної кількості води, яка є необхідною для певних видів водокористування та водозабезпечення самої водної екосистеми. Індикатор водного дефіциту  $WSq$  поєднує основні два компоненти, що відповідають за кількісну величину (визначає дефіцит води) і якісну величину водойми (визначає якість води відповідно до потреби). Цю методику вперше адаптовано та застосовано в Україні для водойми Київського водосховища в аспекті інтегрального індикатора водного дефіциту для різних видів водокористування [4]. Нами, для виконання третього та четвертого завдання застосовано адаптовану для України методику розрахунку інтегрального індикатора водного дефіциту  $WSq$  для риб [5].

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до першого завдання нами зроблений опис локацій (пунктів спостереження), де були відібрані проби води (табл. 2). Ширину річки визначали за допомогою лінійки в програмі <https://earth.google.com/measure-distance-and-area>. Глибину річки вимірювали за допомогою жердини де глибина була малою та за допомогою розміченої мотузки з вантажем, використовуючи човен. Швидкість течії річки визначали за допомогою поплавців. Поплавцями були повністю наповнені водою білі пластикові флакони (пляшки). Вимірювали час, за який поплавець пропливає 100 м. На кожній ділянці проводили по 10 вимірювань, пускаючи поплавець як по центру річки, так і біля берегів. Для кожної ділянки (пункту спостереження) брали усереднені дані за параметром швидкості течії. Ступінь антропогенного впливу на прибережну зону визначали шляхом наявності поруч пляжів, ріллі (розорених сільськогосподарських ділянок), підприємств, приватних та фермерських господарств, сільських та міських населених пунктів.

Наступним завданням було оцінити екологічний стан водойми за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>).

Варто зазначити, що до основних показників кисневого балансу, які є вагомими для життєдіяльності будь-яких категорій риб є концентрація у воді розчиненого кисню ( $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ ) та вміст БСК<sub>5</sub> ( $\text{mgO}_2/\text{dm}^3$ ) [5]. Зокрема показник розчиненого кисню у воді є індикатором, що відповідає за аеробні властивості риб та біологічної активності (фотосинтезу) у воді, а також

Таблиця 1

## Характеристика пунктів спостереження водойми р. Унава

| Пункти | Місце розташування                                                                                                           | Координати                   |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1      | с. Городище, Андрушівський р-н, Житомирська обл. Початок р.Унава. Гирло річки                                                | 49°58'20.6"N<br>29°11'59.0"E |
| 2      | с. Великі Лісівці, Попільнянський р-н, Житомирська обл.                                                                      | 49°59'38"N<br>29°22'10"E     |
| 3      | с. Квітневе, Попільнянський р-н, Житомирська обл. Водосховище р. Унава                                                       | 49°59'34"N<br>29°29'11"E     |
| 4      | с. Єрчики, Житомирський р-н., Житомирська обл. Водосховище р. Унава                                                          | 49°59'27"N<br>29°34'29"E     |
| 5      | с. Кошляки, Попільнянський р-н, Житомирська обл.                                                                             | 50°00'18"N<br>29°40'15"E     |
| 6      | с. Півні, Фастівський р-н, Київська обл.                                                                                     | 50°00'49"N<br>29°43'10"E     |
| 7      | с. Волиця, Фастівський р-н, Київська обл.                                                                                    | 50°02'12"N<br>29°48'39"E     |
| 8      | м. Фастів, Київська обл. Фастівське водосховище на р. Унава                                                                  | 50°04'20"N<br>29°52'51"E     |
| 9      | Між с. Мала Оліферна та с. Велика Оліферна                                                                                   | 50°07'53"N<br>29°56'39"E     |
| 10     | Васильківський р-н, Київська обл. В напрямку до с. Перевіз, між с. Чорногородка та с. Дзвінкове. Впадає р. Унава в р. Ірпінь | 50°13'59"N<br>29°59'28"E     |

Таблиця 2

**Морфометрія та усереднена характеристика  
досліджуваних пунктів відбору проб води водойми – р. Унава**

| Пункти | Усереднені дані<br>за власними<br>польовими<br>дослідженнями |            |                            | Ступінь антропогенного впливу на прибережну зону                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------|--------------------------------------------------------------|------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|        | Ширина, м                                                    | Глибина, м | Швидкість<br>течі, сек/год |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1      | 2                                                            | 3          | 4                          | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1      | 25,0                                                         | 2,0        | 0,1                        | Гирло річки. Наявність розорених с.г. полів (з одного боку до полів – 20 м, з іншого – 100 м), наявність зрошувального каналу, міська дорога за 300 м, лісиста територія за 25 м, до першого приватного будинку в селі – 500 м. Вище від точки відбору – с. Городище.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2      | 4,5                                                          | 2,0        | 0,1                        | Від точки відбору до першого приватного будинку – 405 м, до розорених с.г. полів – з одного боку 100 м, з іншого – 200 м.<br>Зверху від точки відбору знаходяться с. Маркова Волиця та Сокильча; знизу від точки – с. Миролубівка. Відстань від точки до міської дороги – 5000 м. В зоні до 10 км знаходяться приватні присадибні ділянки, які не мають центрального підключення до водопостачання та водовідведення, також фермерські господарства з вирощування зернових та технічних культур.                                                                                      |
| 3      | 225,0                                                        | 3,2        | 1,5                        | Водосховище на річці заболочене, проте в якому є наявність риб (карась, окунь, плотва, короп, лящ). На території водосховища знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». Відстань від водосховища до першого приватного будинку – 122 м. Вздовж берегу присутня деревна рослинність та чагарники. Від точки відбору до першого розореного поля – 125 м. З одного боку – приватні присадибні ділянки, с.г. поля, з іншого – лісистість з поєднанням с.г. полів. Вище від точки відбору – с.г. поля, Миролубівський кар'єр та с. Миролубівка, нижче – с. Квітневе. |
| 4      | 420,0                                                        | 5,0        | 0,1                        | Водосховище має рекреаційне призначення для місцевості через що знаходили багато несанкціонованого сміття; рибальство – наявність риб як карась, окунь, плотва, короп, лящ. На території водосховища знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». В деяких місцях до міської дороги відстань становить 10 м. Також відстань до с.г. полів від точки відбору становить 25 м. Практично вся територія біля водосховища охоплена приватними присадибними ділянками з розореними с.г. полями. Біля водосховища знаходяться елеватори та стайні з худобою.             |
| 5      | 350,0                                                        | 5,5        | 0,3                        | Річка протікає через с. Кошляки. Присутня табличка що рибу заборонено ловити, хоча рибаки були присутні.<br>Біля території відбору проби води знаходиться ставкове господарство по вирощуванню риб «Попільна». Поблизу є стайні з тваринами. Від точки відбору до першого приватного будинку з с.г. полями – 10 м, до розореного поля – 250 м.                                                                                                                                                                                                                                        |
| 6      | 103,0                                                        | 2,0        | 1,5                        | Від точки відбору до першого розореного с.г. поля – 15 м. Ширина берегів занадто вузька і розорені с.г. поля знаходяться близько до річки – від 10 до 15 м. Вище від точки відбору знаходиться с. Кошляки, нижче – с. Дмитрівка та с. Волиця. До найближчої міської дороги відстань складає 4500 м.                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 7      | 4,5                                                          | 1,0        | 0,5                        | Вище від точки відбору знаходиться с. Волиця та розорені с.г. поля; нижче – з обох сторін територія виглядає як лісиста місцевість, заболочена, вкрита густою рослинністю, знаходяться водно-болотні угіддя. До міської дороги відстань складає 125 м, до першого приватного будинку – 350 м, до с.г. полів – 1000 м.                                                                                                                                                                                                                                                                 |

Закінчення табл. 2

| 1                      | 2       | 3    | 4   | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------|---------|------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8                      | 475,0   | 5,5  | 1,5 | Вище від точки відбору знаходяться с.г. поля з однієї сторони, та з іншої – лісиста місцевість, урбанізація м. Фастів. Нижче від точки відбору знаходиться урбанізація м. Фастів. Знаходиться Фастівське водосховище, яке використовують для рекреації (наявність несанкціонованого сміття), господарсько-питних цілей міста та риболовлі (наявність категорій риб як карась, окунь, плотва, короп, лящ, чебачок амурський). Від точки відбору за 150 м знаходяться приватні присадибні ділянки з с.г. полями. До найближчої міської дороги відстань становить 500 м |
| 9                      | 25,0    | 1,5  | 0,1 | Вище від точки відбору знаходяться с. Мала Снітинка та м. Фастів; нижче – с. Тарасенки та с. Кліщіївка. Місцевість де був відбір проб води була заболоченою. До першого приватного будинку від точки відбору – 118 м, до с.г. полів – 125 м, до ґрунтової дороги – 230 м. Неподалік розташоване підприємство із переробки яблук.                                                                                                                                                                                                                                     |
| 10                     | 5,2     | 1,0  | 0,1 | Річка протікає між полями. Нижче від точки відбору – місце де впадає річка в річку Ірпінь на південний захід від села Перевіз. Вище від точки відбору знаходяться с.г. поля та приватні присадибні ділянки.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Усереднені значення, м | 163,720 | 2,77 | 0,6 | <i>Загальний висновок:</i> з точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств.                                                                                                                                                                                                                                                                |

є найважливішим фактором для аквакультури, що підтримує метаболізм та їхній ріст [4]. Біологічне споживання кисню є важливим екологічним показником стану природних вод, індикатором органічного забруднення води, та показує яка кількість кисню в міліграмах потрібна для окиснення органічних речовин, що містяться в одному літрі води. Чим більший уміст БСК<sub>5</sub>, тим більша кількість органічних речовин, які сприяють швидкому розмноженню аеробних бактерій, що у свою чергу можуть спричинити зменшення кисню у воді, який є ключовим елементом життєдіяльності водної біоти [4]. Саме тому врахування вище наведених показників екологічного стану водойми є обґрунтованими для використання зокрема цих показників щодо визначення водного дефіциту у р. Унава для нормального функціонування та розмноження риб у даній водоймі.

Відповідно до проведених аналітичних досліджень (рис. 1), за концентрацією розчиненого кисню у воді ми спостерігали, що значення за роками суттєво відрізняються. Відбір проб води здійснювався в осінній період як у 2022 так і в 2024 роках. Нижчі значення були у 2022 році та вищі у 2024 році у пунктах 3-8. Аналогічну ситуацію бачимо і за показником біологічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>). Лише варто відмітити, що оптимальні значення концентрації розчиненого кисню у воді для риб відрізняються залежно від їхнього виду. Зокрема прийнято, що для окуневих риб оптимальним значенням є вміст розчиненого кисню у воді на рівні 5,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, коропових видів та судаку – 5,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, товстолобик та щука – можуть проживати при вмісті 1,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> [4, 5]. Якщо брати до уваги, що на р. Унава є три водосховища, два з яких знаходяться від с. Квітневе

до с. Кошляки (Житомирська обл., пункти спостереження 3-5), на яких знаходиться ставкове господарство «Попільна», одне – знаходиться в м. Фастів (Київська обл., пункт спостереження – 8), то варто зазначити, що риболовля є розповсюдженою на цій річці. Найбільш поширеними видами риб в р. Унава є карась, окунь, плотва, короп, лящ. Частково (за словами рибалок) зустрічається щука та судак. Показник біологічного споживання кисню у воді (БСК<sub>5</sub>) не повинен перевищувати його гранично допустиму концентрацію для нормального функціонування риб, яка становить не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Як бачимо з діаграми (рис. 1) всі пункти спостереження не відповідають нормативному значенню і відповідно є загроза органічному забрудненню водойми р. Унава.

Саме тому варто враховувати вище наведені показники кисневого балансу для розрахунків індексів водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риб (завдання 3), індексів водного дефіциту (*WSq*) водойми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб (завдання 4).

Наступні завдання наших досліджень стосувалися питань визначення водного дефіциту води досліджуваної водойми для риб як індикатора, що покаже чи достатньо придатна водойма для нормального функціонування всіх видів риб (рівень водного дефіциту буде низьким – що відповідає низькому рівню водного стресу) чи непридатна водойма (рівень водного дефіциту буде дуже високим – що відповідатиме дуже високому рівню водного стресу) [1].

Водний дефіцит розраховують за формулою 1 відповідно до методики [1]:

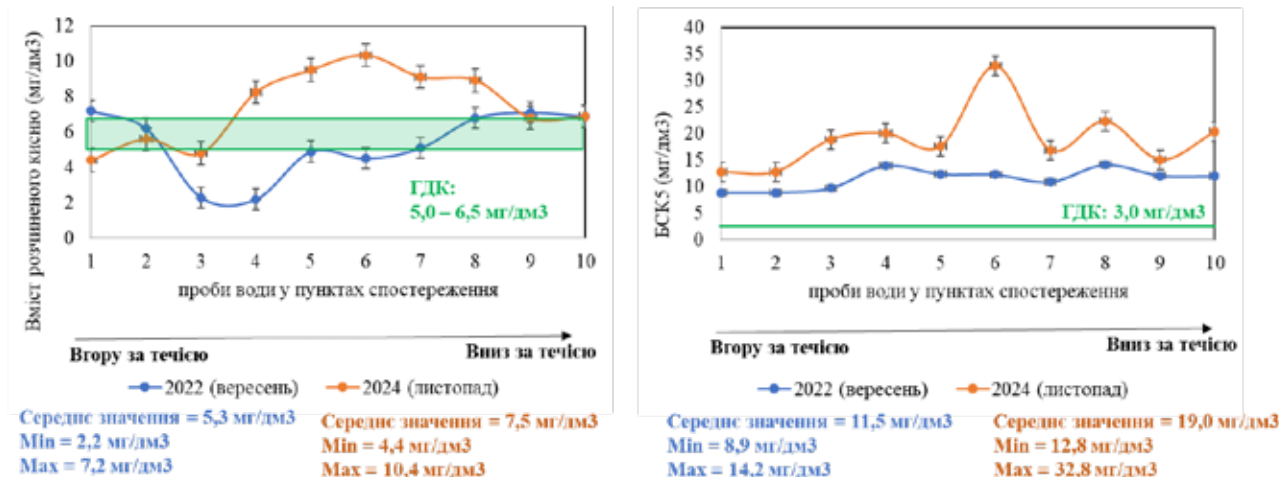


Рис. 1. Концентрація показників кисневого балансу в водоймі р. Унава

$$WSq = \frac{\sum_{j=1}^n (D_j + dq_{ij})}{Q}, \text{ де} \quad (1)$$

$WSq$  (water scarcity including quality) – дефіцит води, включаючи якість води (безмірна величина).

$D_j$  – загальне споживання води за сектором  $j$ , визначається для кожного виду водокористування окремо ( $\text{км}^3/\text{рік}$ ).

$dq_{ij}$  – додаткова кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для сектора  $j$  з урахуванням забруднювача  $i$  ( $\text{км}^3$ ), розрахункова величина.

Показник  $dq_{ij}$  розраховується на основі стандарту певного показника якості води за формулою 2:

$$dq_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } C_i \leq C_{max\,i,j} \\ \left( \frac{Q \cdot C_i}{C_{max\,i,j}} - Q \right), & \text{якщо } C_i > C_{max\,i,j} \end{cases} \quad (2)$$

$C_i$  – фактична концентрація  $i$  показника якості води для певного сектору (виду водокористування) (одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води).

$C_{max\,i,j}$  – максимальне (нормативне) значення  $i$  показника якості води для певного сектору (виду водокористування) (одиниця вимірювання залежить від розглянутого параметра якості води).

$Q$  – загальна кількість води у водному об'єкті ( $\text{км}^3$ ).

Якщо концентрація  $i$  показника (забруднювача) не перевищує встановленим нормативним значенням, тоді відповідає умові  $C_i \leq C_{max\,i,j}$ ,  $dq_{ij} = 0$ . Якщо концентрація  $i$  показника (забруднювача) перевищує встановлені нормативні значення, тоді відповідає умові  $C_i > C_{max\,i,j}$ , розрахунок  $dq_{ij}$  проводимо за формулою вище. Цю умову ми використовували для  $i$  показника (забруднювача) – біологічного споживання кисню ( $\text{БСК}_5$ ). Обернену умову ми використовували для  $i$  показника (забруднювача) – концентрація розчиненого кисню у воді. Обернена

умова застосовується якщо за умовами якості води вважається кращою якщо концентрація  $i$  показника перевищує нормативне значення, тоді проводимо розрахунок  $dq_{ij}$  як для умови –  $C_i > C_{max\,i,j}$ , використовуючи формулу вище.

Для виконання завдань, зокрема для того щоб можна було провести розрахунок індексів водного дефіциту для риб за показниками кисневого балансу, нам потрібно знати об'єм води ( $Q$ ,  $\text{км}^3$ ), а саме загальну кількість води в р. Унава. З даним параметром виникли значні виклики, оскільки дані відсутні у вільно доступних офіційних джерелах і нами був використаний підхід для визначення загального об'єму води в річці, враховуючі власні польові дослідження за 2022 та 2024 роки (табл. 3).

Загальне споживання води ( $D_j$ ,  $\text{км}^3$ ) відповідно до методики [1] прийнято, що водна біота як риби використовують в середньому 30 % води від загальної кількості води у водоймі. Нами для обрахунку прийнято це значення, і відповідно становить 0,01  $\text{км}^3$  (30% від 0,039  $\text{км}^3$ ).

Фактичну концентрацію вмісту розчиненого кисню у водоймі р. Унава ( $C_i$ ,  $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ ) розраховували як середньоарифметичну концентрацію, що була визначена відповідно до років спостереження (рис. 1).

Додаткову кількість чистої води, яка необхідна для розбавлення забрудненої води до відповідної якості води для певних категорій риб ( $dq_{ij}$ ,  $\text{км}^3$ ) розраховували відповідно до вище описаних умов, використовуючи формулу 2.

Інтерпретація результатів водного дефіциту [1, 4]:

0,0-0,2: низький рівень – дефіциту води немає, кількість доступної якісної води достатня для  $j$  сектора;

0,2-0,4: середній рівень – дефіцит води відчутний, варто звернути увагу які показники вплинули на доступність якісної води для  $j$  сектору; кількість доступної якісної води частково достатня для  $j$  сектору;

Таблиця 3

**Вихідні дані та розрахунок загальної кількості води ( $Q$ , км<sup>3</sup>) у водному об'єкті р. Унава**

| Вихідні дані для розрахунку $Q$                                      |                 |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Середня ширина річки                                                 | км              | 0,16372 (164,0 м/1000), 1 км=1000 м                                           |
| Середня довжина річки                                                | км              | 87                                                                            |
| Площа річки (ширина * довжина)                                       | км <sup>2</sup> | 14,244 (87 км*0,16 км)                                                        |
| Загальна кількість води у водному об'єкті ( $Q$ , км <sup>3</sup> ): |                 |                                                                               |
| площа * глибина                                                      | 39,45588        | $10^9$ дм <sup>3</sup> ( $1 \text{ км}^2 * 1 \text{ м} = 10^9 \text{ дм}^3$ ) |
| дм <sup>3</sup>                                                      | 39454882800     | $39,45588^9 \text{ дм}^3$                                                     |
| м <sup>3</sup>                                                       | 39454883        | $39454882800/1000$                                                            |
| км <sup>3</sup>                                                      | 0,039           | $39454883/10^9 \text{ дм}^3$                                                  |

Таблиця 4

**Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риби (2022 р.)**

| Категорія риби    | Величини для обрахунку |                         |                                           |                                                     |                             | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
|                   | $Q$ , км <sup>3</sup>  | $D_j$ , км <sup>3</sup> | $C_i$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $C_{\max_{ij}}$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $dq_{ij}$ , км <sup>3</sup> | $WSq_j$        |                         |
| Судак             | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Окуневі           | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,5                                                 | 0,0072                      | 0,48           | високий                 |
| Коропові          | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Товстолобик, щука | 0,039                  | 0,01                    | 5,3                                       | 1,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |

Таблиця 5

**Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником розчиненого кисню для конкретних видів риби (2024 р.)**

| Категорія риби    | Величини для обрахунку |                         |                                           |                                                     |                             | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
|                   | $Q$ , км <sup>3</sup>  | $D_j$ , км <sup>3</sup> | $C_i$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $C_{\max_{ij}}$ , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | $dq_{ij}$ , км <sup>3</sup> | $WSq_j$        |                         |
| Судак             | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Окуневі           | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Коропові          | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 5,0                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |
| Товстолобик, щука | 0,039                  | 0,01                    | 7,5                                       | 1,5                                                 | 0,0                         | 0,30           | середній                |

0,4-0,6: високий рівень – рівень дефіциту води високий, існує ризик забруднення води, що унеможливає її використання; кількість доступної якісної води для  $j$  сектора – практично не доступна; для риби при цих умовах можлива поява гіпоксії риби, що у подальшому може призвести до замору риби;

>0,6: дуже високий рівень – рівень дефіциту води дуже високий, водний об'єкт не можна використовувати для  $j$  сектора через наявність високого рівня забрудненості; кількість доступної якісної води для  $j$  сектора – відсутня.

Всі вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту для конкретних видів риби за роками спостереження представлені у таблицях 4-5 та на графіку (рис. 2). Поділ на категорії риби базується на градації оптимальних значень показника вмісту розчиненого кисню у воді для цих риби.

Як бачимо з отриманих розрахунків, водойма р. Унава у 2022 році мала від середнього до високого рівня (для окуневих риби) водного дефіциту ( $WSq=0,30-0,48$ ), у 2024 році – середній рівень з  $WSq=0,30$  для всіх категорій риби (рис. 2). Показником якості, який був врахований для розрахунку водного дефіциту була концентрація розчиненого кисню у водоймі. Оскільки концентрація цього показника у водоймі перебувала на рівні оптимальних значень для категорій риби, відповідно рівень водного дефіциту без врахування показника якості відповідав рівню водного дефіциту з врахуванням показника якості. Винятком є концентрація розчиненого кисню у водоймі за 2022 рік для окуневих риби, оскільки оптимальним значенням для цих риби є 6,5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, а дослідження показали вміст на рівні 5,3 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Чим нижче значення даного показника

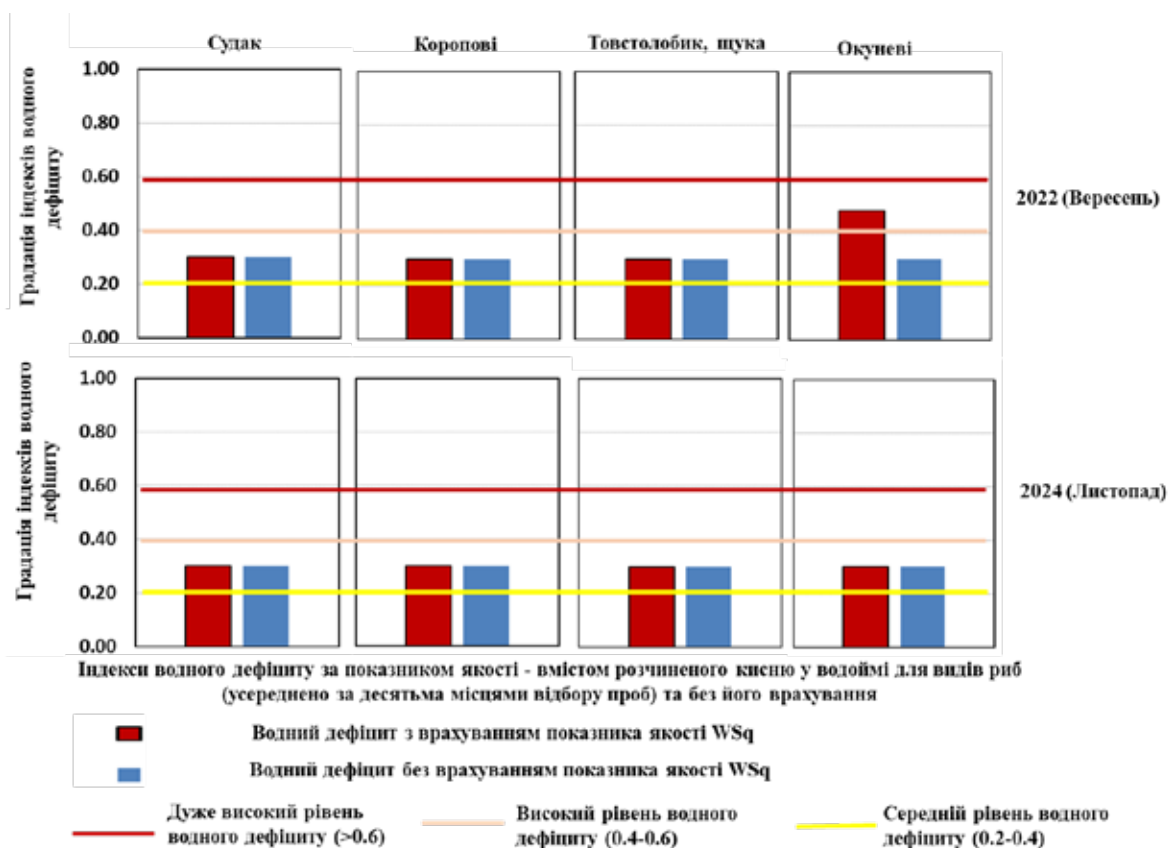


Рис. 2. Індекси водного дефіциту (WSq) водойми за показником розчиненого кисню (WSq – червоний колір стовпчика) та без його врахування (WSq – синій колір стовпчика) для конкретних видів риб, що найбільш розповсюджені у водоймі р. Унава (окунь, судак, товстолобик, щука, карпові види), в динаміці за 2022 та 2024 роки

відповідно нормативу, тим буде більший рівень водного дефіциту. Проте варто відмітити, що вищі дані вмісту розчиненого кисню у водоймі за 2024 рік можуть свідчити про різні мікробіологічні процеси у водоймі, оскільки під час відбору проб води були наявні виділення вуглекислого газу з води та процеси евтрофікації. Саме тому для більшого уточнення і достовірності отриманих висновків, нами було прийнято розрахувати індекси водного дефіциту за показником біологічного споживання кисню, який є також індикатором якості води для риб.

Останнім завданням досліджень було провести розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водо-

йми за показником БСК<sub>5</sub> для всіх категорій риб з врахуванням динаміки зміни показника у 2022 та 2024 роках. В цих умовах показником якості водойми виступав параметр як біологічне споживання кисню за 5 діб. Концентрація даного показника наведена на рисунку 1. Для розрахунку WSq використовували усереднені дані для всієї р. Унава. Варто зазначити, що за даним показником розраховуємо для всіх видів риб водний дефіцит, оскільки гранично допустима концентрація для категорій риб що використовували вище є однаковою і становить 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (C<sub>max i,j</sub>, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>). Результати розрахунків наведені в таблиці 6 та на рисунку 3.

Таблиця 6

Вихідні дані та розрахунок індексів водного дефіциту (WSq) водойми за показником БСК5 для всіх видів риб

| Категорія риб | Величини для обрахунку |                     |                                       |                                                          |                        | Водний дефіцит | Рівень водного дефіциту |
|---------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|----------------|-------------------------|
|               | Q, км <sup>3</sup>     | Dj, км <sup>3</sup> | Ci, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | C <sub>max i,j</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | dqi,j, км <sup>3</sup> | WSq,j          |                         |
| 2022          | 0,039                  | 0,01                | 11,5                                  | 3,0                                                      | 0,1123                 | 3,15           | середній                |
| 2024          | 0,039                  | 0,01                | 19,0                                  | 3,0                                                      | 0,2102                 | 5,63           | високий                 |

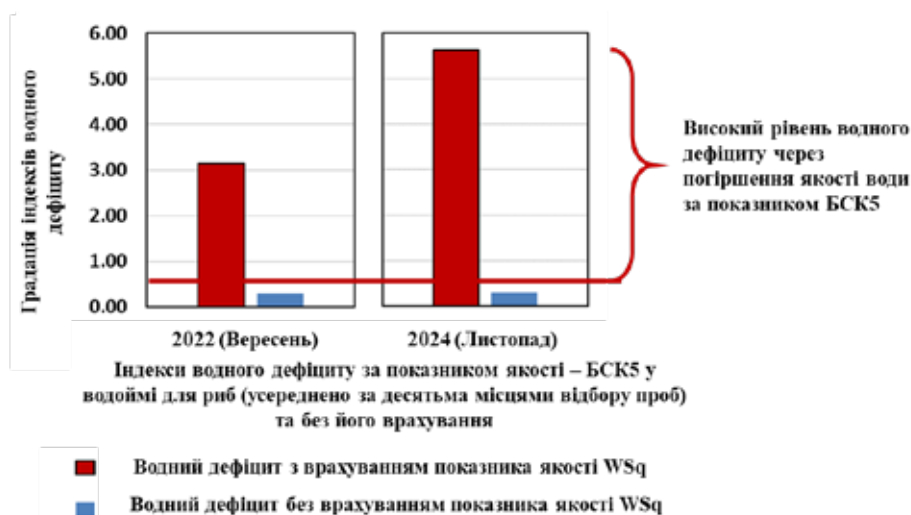


Рис. 3. Індекси водного дефіциту ( $WSq$ ) водойми за показником БСК<sub>5</sub> ( $WSq$  – червоний колір стовпчика) та без його врахування ( $WSq$  – синій колір стовпчика) для риб в динаміці за 2022 та 2024 роки

Як бачимо з розрахунків, рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості (БСК<sub>5</sub>) є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава.

Також з огляду на проведені розрахунки варто при дослідженнях дефіциту води обов'язково враховувати показники якості води, оскільки вони є індикаторами певного виду забруднення та показують чи достатню кількість якісної води має водойма щоб забезпечити потреби як народного господарства (зрошення, господарсько-питні цілі, рекреація), так і потреби самої водної екосистеми, щоб вона мала змогу до самоочищення.

**Головні висновки.** В ході власних польових досліджень встановлено, що р. Унава має заболочені численні ділянки, частково замулені прибережні ділянки берегів. Вона є не глибокою, берега вкриті рослинністю, чагарниками та очеретом. З точкових джерел забруднення прогнозовано найбільший вплив мають приватні присадибні ділянки в сільській місцевості та житлово-комунальні підприємства м. Фастів; з дифузних джерел забруднення впливають рілля як з приватних господарств так і фермерських господарств. На р. Унава є три водосховища, які слугують для риболовлі, рекреації й технічних потреб, також одне з них (м. Фастів) – для господарсько-питних потреб.

Проведена оцінка водойми за показниками кисневого балансу за 2022 та 2024 роки (вміст розчиненого кисню та біологічне споживання кисню – БСК<sub>5</sub>). Встановлено, що концентрація розчиненого кисню у водоймі р. Унава становить від 2,2 до 7,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2022 році, та 4,4-10,4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у 2024 році. Вміст біологічного споживання кисню у 2022 році становив 8,9-14,2 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, у 2024 році – 12,8-32,8 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> при оптимальному значенні для прісноводних річок для коропових категорій риб не більше 3,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

З врахуванням показника якості – концентрації розчиненого кисню у воді, розраховано індекси водного дефіциту водойми для певних категорій риб: для окуневих  $WSq_{2022}=0,48$  (високий рівень водного дефіциту) та  $WSq_{2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту); коропові, судак, товстолобик, щука –  $WSq_{2022/2024}=0,30$  (середній рівень водного дефіциту).

Рівень водного дефіциту водойми р. Унава з врахуванням показника якості – БСК<sub>5</sub> є високим як у дослідженнях 2022 року, так і в 2024 року ( $WSq_{2022}=3,15$ ,  $WSq_{2024}=5,63$ ). Проте, якщо не враховувати показник якості, рівень водного дефіциту водойми є низьким. Це свідчить про те, що водойма має органічне забруднення і воно суттєво впливає на кількість доступної якісної води для нормального розмноження та функціонування риб у водоймі р. Унава.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Результати дослідження можуть бути використанні для подальшого оцінювання екологічного стану водойми р. Унава, а також для моніторингових досліджень водних ресурсів басейну р. Ірпін.

### Література

- van Vliet, M. T., Flörke, M., & Wada, Y. Quality matters for water scarcity. *Nature Geoscience*, 2017. 10(11), 800–802. URL: <https://www.nature.com/articles/ngeo3047>
- Хільчевський В.К. Деякі аспекти щодо стану території районів річкових басейнів та моніторингу вод під час вторгнення Росії в Україну (2022 р.) *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2022, 3(65), 6–14. URL: <https://www.researchgate.net>

- net/publication/365380601\_Deaki\_aspekti\_sodo\_stanu\_teritorii\_rajoniv\_rickovih\_basejniv\_ta\_monitoringu\_vod\_pid\_cas\_vtorgnenna\_Rosii\_v\_Ukrainu\_2022\_r\_Some\_aspects\_regarding\_the\_state\_of\_the\_territory\_of\_the\_river\_basins\_district
3. Хільчевський В. К., Гребінь В. В., Манукало В. О. Гідрологічний словник. К. ДІА, 2022. 236 с.
  4. Строкаль В. П., Куровська А. В. Інтегральне оцінювання екологічного стану води Київського водосховища: монографія. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2024. 225 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/server/api/core/bitstreams/085daab2-29d4-447a-b039-9e25b28168b5/content>
  5. Строкаль В. П., Куровська А. В. Науково-методичні рекомендації: Інтегральна оцінка екологічного стану природних вод для різних видів водокористування : науково-методичні рекомендації. Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2024. 64 с. URL: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/11205>
  6. He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Bryan, B. A. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 2021. 12(1), 4667. <https://www.nature.com/articles/s41467-021-25026-3>
  7. Tzanakakis, V. A., Paranychanakis, N. V., & Angelakis, A. N. Water supply and water scarcity. *Water*, 2020. 12(9), 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>
  8. Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., & Huisinigh, D. Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*. 2023. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)05715-8](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)05715-8)