

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОБОТИ КАНІВСЬКОЇ ГЕС У НИЖНЬОМУ Б'ЄФІ НА ПОКАЗНИКИ ЗАБРУДНЕНОСТІ ВОДИ ЗА БІОТИЧНИМИ ІНДЕКСАМИ

Борисенко М.М., Лукашов Д.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

вул. Володимирська, 64/13, 01601, м. Київ

mborysenko2905@gmail.com, ecologyknu@gmail.com

У роботі представлено результати оцінки ступеня забрудненості води р. Дніпро на ділянці Кременчуцького водосховища в нижньому б'єфі Канівської гідроелектростанції. Для цього використано ряд біотичних індексів якості води. А саме індекси ТВІ та FBI, що використовують співвідношення чисельності різних таксонів макробезхребетних в угрупованнях гідробіонтів, та індекс Балушкіної, що використовує співвідношення чисельності представників різних підродин комарів-дзвінців (Chironomidae). Індекси було розраховано на основі даних про зооперифітонні угруповання, що формуються на каменях берегоукріплювальних споруд, розміщених на досліджуваній ділянці річки. Індекс ТВІ коливався в межах від 1 (що відповідає оцінці якості вод «дуже погані») до 6 (що відповідає оцінці якості вод «задовільні»). Індекс FBI – від 0,6 (оцінка «відмінні») до 6,96 (оцінка «погані»), а індекс Балушкіної – від 0,14 (оцінка якості води «чиста») до 7,41 (оцінка – «забруднена»). Отримані оцінки якості води суттєво відрізнялися в залежності від сезону, в який проводився відбір проб, відстані нижче греблі гідроелектростанції та використаного індексу. Під час використання індексів ТВІ та FBI було отримано низькі оцінки якості води навесні й високі – влітку. У випадку індексу Балушкіної ситуація була протилежною. У травні було виявлено тенденції до підвищення оцінок якості води з віддаленням від греблі гідроелектростанції. Це спостерігалось для індексу FBI ($r=0,83$, значущий при $p \leq 0,05$) та індексу Балушкіної (кореляція статистично незначуща). Такі тенденції вказують на вплив роботи гідроелектростанції, зокрема скиду гіполімнетичних водних мас, на стан показників забрудненості вод нижнього б'єфу. Але суттєві відмінності в результатах оцінки за різними індексами говорять про неможливість застосування цих індексів як показників для вичерпної оцінки якості води з використанням зооперифітону. Їх допустимо використовувати лише як відносні показники для порівняння стану забрудненості води на різних точках. *Ключові слова:* гідроелектростанція, якість води, нижній б'єф, біотичні індекси, перифітон, річка Дніпро, вплив греблі.

Estimation of the impact of the operation of the Kaniv Hydroelectric Power Plant in the downstream on the water pollution degree using biotic indexes. Borysenko M., Lukashov D.

The paper presents the results of the estimation of the degree of water pollution of the Dnieper River in the section of the Kremenchuk Reservoir in the downstream of the Kaniv Hydroelectric Power Plant. Several biotic indexes of water quality were used for this purpose. Namely, the TBI and FBI indexes, which use the ratio of the number of different macroinvertebrate taxa in aquatic organisms communities, and the Balushkina index, which uses the ratio of the number of representatives of different subfamilies of Chironomidae family. The indexes were calculated based on data on zooperiphyton communities. These communities were formed on the stones of shore protection constructions located on the studied section of the river. The TBI index ranged from 1 (corresponding to a “very poor” water quality assessment) to 6 (corresponding to a “satisfactory” water quality assessment). The FBI index ranges from 0.6 (“excellent”) to 6.96 (“poor”), and the Balushkina index ranges from 0.14 (“clean”) to 7.41 (“contaminated”). The obtained water quality estimates differed significantly depending on the season in which the sampling was performed, the distance below the hydroelectric dam, and the index used. Using the TBI and FBI indexes, low water quality scores were obtained in the spring and high in the summer. In the case of the Balushkina index, the situation was the opposite. In May, was detected a tendency to increase water quality estimates with distance from the dam. This was observed for the FBI index ($r=0.83$, significant at $p \leq 0.05$) and the Balushkina index (the correlation was statistically insignificant). Such trends indicate the impact of HPP operation, in particular the discharge of hypolimnetic water masses, on the water pollution in the downstream. But significant differences in the results of assessment using different indexes indicate the impossibility of using these indexes as indicators for a comprehensive assessment of water quality using zooperiphyton. They can be used only as relative indicators to compare the state of water pollution at different points. *Key words:* hydroelectric power plant, water quality, hydropower downstream, biotic indexes, periphyton, Dnieper River, dam impact.

Постановка проблеми. Гідроенергетика є важливою складовою частиною енергетичної галузі України. Враховуючи характерні для неї відсутність потреби у викопному паливі й високі маневрові якості, її значення зростатиме. Але водночас вона пов'язана зі значним впливом на річкові еко-

системи. Ділянка річки вище греблі гідроелектростанції (далі – ГЕС) перетворюється на водосховище – водойму з гідрологічним режимом, подібним до озерного. Це приводить до кардинальної перебудови гідробіоценозів і перетворення цієї ділянки на техноекосистему [8; 14; 19]. Ділянка нижче ГЕС

зазнає менш кардинальних змін умов середовища, такі ділянки часто розглядаються як близькі до природних [3; 12]. Але й ця ділянка все ж зазнає змін гідрологічного, гідрохімічного, термічного режимів. Все це позначається на її біоценозах. Крім того, що течія річки в таких умовах перебуває під контролем людини, а не природних факторів, у нижній б'єфі ГЕС надходить вода з гіполімніону водосховища, яка відрізняється від поверхневих шарів води за температурою та багатьма гідрохімічними параметрами. Показники забрудненості води належать до важливих характеристик умов середовища у водних екосистемах. Одним із способів їх оцінити є різноманітні біотичні індекси оцінки якості води. Такі індекси дуже популярні в дослідженнях антропогенного тиску на водні екосистеми, але, оскільки різноманітність угруповань гідробіонтів залежить не лише від якості води, їх застосування потребує обережності. У роботі розглядається можливість оцінити за біотичними індексами показники забрудненості вод у нижньому б'єфі й вплив на них глибинних скидів ГЕС. Робота виконана в рамках дослідження впливу Канівської ГЕС на зооперифітонні угруповання нижнього б'єфу.

Актуальність дослідження. Натепер в Україні на гідроелектростанції припадає близько 7% виробленої електроенергії. Але завдяки високим маневровим якостям, вони використовуються для регулювання добових графіків навантажень на енергосистему [10; 21]. Значення таких регулювальних потужностей лише зростає під час збільшення частки в енергосистемі відновлювальних джерел енергії, оскільки вітрові й сонячні електростанції мають мінливий і нерегулярний характер роботи [5]. Тому в сучасних умовах значення гідроенергетики у світі збільшується [13]. Враховуючи значний вплив цієї галузі на довкілля, існує необхідність всебічного його вивчення з метою мінімізації негативних наслідків спорудження та експлуатації ГЕС та гідроаккумуляційної електростанції. В умовах каскаду ГЕС на р. Дніпро руслові ділянки водосховищ на значній частині довжини річки лишаються єдиними фрагментами, наближеними до річкової екосистеми, тому їм надається велике природоохоронне значення [3; 12]. Відповідно, вивчення впливу роботи ГЕС на біоту цих ділянок має значення також для розробки заходів зі збереження біорізноманіття.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Робота виконувалась в рамках бюджетної теми № 01184000245 «Моніторинг екосистем Канівського природного заповідника («Літопис природи») й рідкісного біорізноманіття об'єктів Смарагдової мережі Середнього Придніпров'я».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Екосистеми нижніх б'єфів ГЕС перебувають під суттєвим впливом їх роботи. В таких умовах спостерігаються нетипові для природних річок добові коли-

вання рівня води й швидкості течії [6; 7]. Скиди ГЕС впливають на температуру води в нижньому б'єфі, а саме: у випадку глибинного скиду відзначається зниження температури води у весняно-літній і підвищення в осінньо-зимовий період [15]. Крім того, глибинні води водосховища часто бувають збіднені на розчинений кисень [4; 11; 22], мають нижче значення показника рН [23]. Під час скиду це приводить до змін відповідних показників і у нижньому б'єфі. Скиди ГЕС можуть також позначатися на вмісті у воді органічних речовин [20]. Все це може бути причиною змін показників якості води в нижньому б'єфі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Забрудненість води належить до важливих екологічних факторів, що впливають на життєдіяльність гідробіонтів. Одним зі способів оцінки її ступеня є використання біотичних індексів визначення якості води. В роботі вивчається можливість використання даних про перифітонні угруповання в нижньому б'єфі ГЕС на великій рівнинній річці для розрахунку таких індексів та оцінки показників забрудненості води за ними. Також здійснюється оцінка впливу роботи ГЕС на ці показники.

Новизна. В ході дослідження вперше було встановлено зв'язок значень показників забрудненості води в нижньому б'єфі ГЕС з відстанню від її греблі.

Методологічне або загальнонаукове значення. В роботі оцінено можливість використання ряду біотичних індексів (ТВІ, FBI та індекс Балушкіної) для визначення якості води з використанням даних про таксономічний склад і співвідношення чисельностей макробезхребетних перифітонних угруповань в умовах руслової частини Канівського водосховища.

Викладення основного матеріалу.

Методика дослідження. Для вивчення зооперифітонних угруповань було обрано 7 станцій спостереження на берегозахисних спорудах в нижньому б'єфі Канівської ГЕС на відстані 3,46–7,72 км нижче греблі між м. Канів та с. Пекарі (Канівський район, Черкаська обл.). Відбір проб проводили щомісяця (в червні двічі – до й після закінчення періоду нересту) в період із квітня по жовтень 2018 р. Зразки відбирали шляхом змиву перифітону з каменів, вийнятих із води з глибини 0,5 м. Зібрані організми фіксували за допомогою 4% формаліну. Камеральну обробку проводили за допомогою стереомікроскопа МБС-10 і камери Богорова. Для оцінки якості води було розраховано індекси ТВІ [25], FBI [16] та Індекс Балушкіної [1]. Для розрахунку було використано програму BiotMetrics (Інститут гідробіології НАНУ) [9]. Зв'язок значень цих індексів з відстанню нижче греблі оцінювали за допомогою коефіцієнту кореляції Пірсона.

Результати та їх обговорення. Величина індексу ТВІ коливалася в межах від 1 (що відповідає оцінці якості вод «дуже погані») до 6 (що відповідає оцінці якості вод «задовільні»). Низькі значення цього

індексу (які відповідають низьким оцінкам) були виявлені на більшості станцій у травні й першій половині червня (лише у 34,6% випадків були отримані значення, вищі за 1). Пізніше значення на всіх станціях були не нижчими за 4 (оцінка «погані»), а у 88% випадків вони становили 5–6 (оцінка «задовільні»). Для величини індексу ТВІ не вдалося встановити зв'язків із відстанню нижче греблі ГЕС.

Для індексу FBI було отримано величину в межах від 0,6 (оцінка «відмінні») до 6,96 (оцінка «погані»). Високі значення індексу (що відповідають низьким оцінкам якості води) було зареєстровано в травні (на 6 точках – «погані», на одній «задовільні», на 5 – «добрі» й на одній – «відмінні»). В період із червня по серпень значення цього індексу знижувалися. Зрештою, в серпні на всіх станціях індекс ТВІ показав оцінку «відмінні» для якості вод на всіх станціях. У жовтні відбулось деяке зниження отриманих оцінок (до «добрі» на 2 точках).

У травні було виявлено позитивну кореляцію значень індексу з відстанню нижче ГЕС ($r=0,83$, значущий при $p \leq 0,05$, див. рис. 1). На віддалених від греблі станціях отримані значення були в 1,5–1,6 разів вищі, ніж на близьких. Таким чином, згідно з індексом FBI, зі збільшенням відстані від ГЕС спостерігалось підвищення показників якості води. Оскільки такий індекс чутливий до органічного забруднення вод, така ситуація може свідчити про зменшення вмісту органічних зависей у воді з віддаленням від греблі. Подібну тенденцію зміни індексу FBI з від-

танню виявлено також у другій половині червня, але вона була слабкою та статистично незначущою.

Для обох цих індексів було виявлене покращення оцінок якості води в літній період. Ймовірно, це пов'язано не зі змінами в реальних показниках забрудненості вод, а з особливостями сезонної динаміки досліджуваних угруповань. В зимовий період відбувається осушення або обмерзання берегоукріплювальних споруд на досліджуваних глибинах, внаслідок чого перифітонні угруповання зникають, а впродовж наступного вегетаційного сезону – відновлюються. Тому їх таксономічна різноманітність підвищується, що впливає на величину індексів, які від неї залежать. Таким чином, оцінки можуть покращуватися, незважаючи на те, що якість води в той самий період може знижуватися.

Індекс Балушкіної базується не на загальній різноманітності угруповань, а на співвідношенні чисельності представників різних підродин родини Chironomidae (Insecta, Diptera). Його значення коливалися в межах від 0,14 (оцінка якості води «чиста») до 7,41 (оцінка «забруднена»). Їхня сезонна динаміка було протилежною до ситуації, яку показали індекси ТВІ й FBI. У травні на всіх станціях було зафіксовано величини, що показали оцінку «чиста», а пізніше на більшості станцій ця оцінка погіршилася. Найнижчі оцінки якості води було отримано в серпні. Так, лише в нижній точці станції № 2 (4,12 км від греблі) було отримано значення 0,67, що відповідає оцінці «чиста», а в решті випадків оцінки були нижчі,

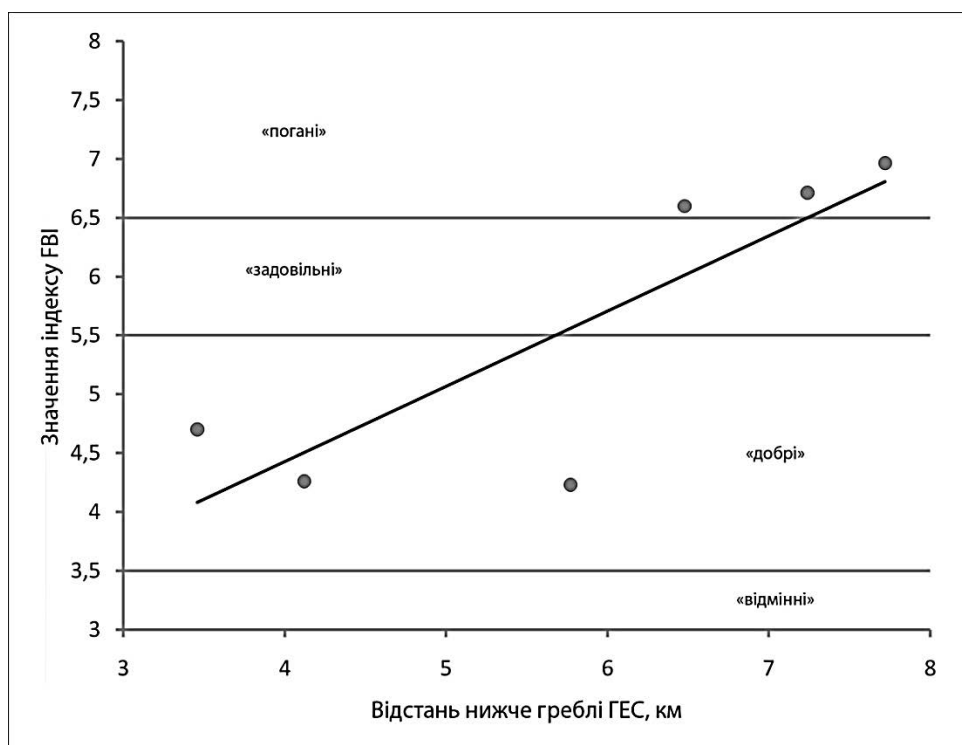


Рис. 1. Залежність між значенням індексу FBI з верхніх точок і відстанню від греблі ГЕС у травні 2018 р.

в 46,2% випадків вони відповідали оцінці «забруднена». У жовтні значення індексу були дещо нижчими (що відповідає вищим оцінкам якості води). Така сезонна динаміка видається відповіднішою реальному стану показників забрудненості води органікою, оскільки саме на літній період припадає максимум розвитку явища «цвітіння води», що спостерігається у водосховищах Дніпровського каскаду, в тому числі й на цій ділянці [2]. Більша відповідність оцінок якості води за індексом Балушкіної може бути пояснена швидшим відновленням різноманітності личинок хірономід у порівнянні із загальною різноманітністю перифітонних угруповань, оскільки імагінальна стадія розвитку цих організмів, що не є гідробіонтом, не залежить від впливу ГЕС на умови у водних екосистемах.

У травні також було виявлено тенденцію до зниження величини цього індексу (і, відповідно, підвищення оцінки якості води) зі збільшенням відстані від греблі ГЕС. На віддалених станціях було отримано значення у 2,3–3,4 рази нижчі в порівнянні з близькими до ГЕС. Але, на відміну від індексу FBI, зв'язок був слабшим і статистично незначущим.

Таким чином, ці три індекси показали досить відмінні результати. Це пов'язано зі специфічністю досліджуваних угруповань та особливостями їх таксономічного складу й співвідношень чисельностей представників окремих таксонів порівняно з типовими угрупованнями макрзообентосу. Тому їх не можна використовувати для отримання вичерпних висновків про якість води на досліджуваній ділянці. Але їх використання як відносного показника, за

яким можна порівняти показники забрудненості води на різних відстанях від ГЕС, можливе.

Виявлені тенденції змін значень індексів із віддаленням від греблі можуть свідчити про надходження з гіполімніону водосховища водних мас, що містять більше органічних зависей. Вплив гребель на вміст у воді органіки відомий з даних інших дослідників. Так, відомо, що греблі змінюють співвідношення вмісту грубозернистих і дрібнодисперсних органічних часток у воді [20; 24]. Крім того, ці тенденції подібні до змін кількісних показників угруповань перифітону (таких, як щільність і біомаса) в нижньому б'єфі Канівської ГЕС. Зниження щільності й біомаси зі збільшенням відстані нижче ГЕС неодноразово фіксувалося на досліджуваній ділянці як для представників окремих таксономічних груп, так і для угруповань загалом [17; 18].

Головні висновки. Розглянуті біотичні індекси якості води під час використання для їх розрахунку зооперифітонних угруповань можуть бути вжиті лише як відносні показники для порівняння різних точок досліджуваної ділянки, але не для вичерпної оцінки стану забрудненості води.

Індекси ТВІ й FBI показали підвищення якості води влітку, тоді як індекс Балушкіної – зниження.

У травні було виявлено тенденцію до підвищення оцінки якості води з віддаленням від греблі ГЕС, яке показали індекс FBI й індекс Балушкіної.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати роботи можуть бути використані під час проектування нових гідроелектростанцій і планування режимів роботи наявних для мінімізації негативного впливу на гідроекосистеми нижніх б'єфів.

Література

1. Балушкіна Е.В. Хірономіди як індикатори ступеня забруднення вод. *Методи біологічного аналізу прісних вод*. Ленінград : ЗИН, 1976. С. 106–118.
2. Вишневецький В.І. Просторово-часова мінливість «цвітіння» води у дніпровських водосховищах. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2019. № 20. С. 18–27.
3. Голубцов О.Г., Чорний М.Г. Застосування ландшафтного планування для створення проекту Канівського біосферного резервату. *Український географічний журнал*. 2014. № 2. С. 10–17.
4. Гуляєва О.О. Роль Дністровського гідровузла у формуванні кисневого режиму річки. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2011. Т. 1. № 22. С. 127–133.
5. Ландау Ю.О., Сташук І.В. Значення гідроенергетики в розвитку ОЕС України відповідно до НЕС-2035 і екологічні виклики. *Гідроенергетика України*. 2018. № 1–2. С. 3–6.
6. Ободовський О.В., Гребін В.В. Організація моніторингу гідрологічного режиму і руслових процесів Дніпра в районі Канівського заповідника. *Заповідна справа в Україні*. 2001. Т. 7. Вип. 1. С. 59–64.
7. Окснюк О.П., Давыдов О.А., Карпезо Ю.И. Санитарно-гідробіологічна оцінка стану річкової частини Канівського водохранилища на основі структурних показателів альгоценозів мікрофітобентосу. *Гідробіологічний журнал*. 2012. Т. 48. № 3. С. 57–72.
8. Протасов А.А. Концепція техноекосистеми в технічній гідробіології. *Гідробіологічний журнал*. 2014. Т. 50. № 3. С. 3–18.
9. Твір наукового характеру “BiotMetrics” : свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 82747 / Ю.М. Волюков, А.В. Лященко ; дата реєстрації 12.11.2018, Бюл. № 51.
10. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України : аналітична доповідь. НІСД, 2014. 54 с.
11. Тімченко О.В., Линник П.М. Кисневий режим Канівського водосховища і можливі шляхи його поліпшення в критичних умовах. *Наукові праці УкрНДГМІ*. Вип. 251. Київ : Ніка-центр, 2003. С. 112–118.
12. Чорний М.Г., Грищенко В.М., Шевчик В.Л. та ін. Перспективи розширення Канівського природного заповідника. *Заповідна справа в Україні*. 2011. Т. 17. Вип. 1–2. С. 103–110.
13. Ashraf F.B., Haghghi A.T., Riml J., Alfredsen K., Koskela J.J., Kløve B., Marttila H. Changes in short term river flow regulation and hydropеaking in Nordic rivers. *Scientific Reports*. 2018. № 8. 17232.

14. Baxter R.M. Environmental effects of dams and impoundments. *Annual Rev. Ecol. Syst.* 1977. № 8. P. 255–283.
15. Bobat A. Thermal pollution caused by hydropower plants. *Energy systems and management.* Berlin : Springer, 2015. P. 19–32.
16. Bode R.W., Novak M.A. Development and Application of Biological Impairment Criteria for Rivers and Streams in New York State. *Biological Assessment and Criteria, Tools for Water Resource Planning and Decision Making* / Eds. Wayne S. Davis and Thomas P. Simon. Florida : CRC Press. P. 97–108.
17. Borysenko M.M., Lukashov D.V. Change of zooperiphyton communities by downstream of Kaniv hydroelectric power plant in autumn period. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series "Biology"*. 2017. Vol. 73. № 1. P. 80–84.
18. Borysenko M.M., Lukashov D.V. Impact of Kaniv Hydroelectric Power Plant on the Zooperiphyton Communities in the Downstream. *International Journal of Science and Engineering Investigations (IJSEI)*. 2019. Vol. 8. Issue 92. P. 104–107.
19. Greathouse E.A., Pringle C.M., McDowell W.H., Holmquist J.G. Indirect upstream effects of dams: consequences of migratory consumer extirpation in Puerto Rico. *Ecol. Appl.* 2006. Vol. 16. № 1. P. 339–352.
20. Kokavec I., Navara T., Beracko P., Derka T. Downstream effect of a pumped storage hydropower plant on river habitat conditions and benthic life – a case study. *Biologia*. 2017. Vol. 72. № 6. P. 652–670.
21. Schmutz S., Bakken T.H., Friedrich T., Greimel F., Harby A., Jungwirth M., Melcher A., Unfer G., Zeiringer B. Response of fish communities to hydrological and morphological alterations in hydropeaking rivers of Austria. *River research and applications*. 2015. № 31. P. 919–930.
22. Turner L., Erskine W.D. Variability in the development, persistence and breakdown of thermal, oxygen and salt stratification on regulated rivers of southeastern Australia. *River Research and Applications*. 2005. Vol. 21. № 2–3. P. 151–168.
23. Wang B., Liu C. Q., Wang F., Liu X. L., Wang Z. L. A decrease in pH downstream from the hydroelectric dam in relation to the carbon biogeochemical cycle. *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 73. № 9. P. 5299–5306.
24. Ward J.V., Stanford J.A. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. *Regulated Rivers: Research and Management*. 1995. № 10. P. 159–168.
25. Woodiwiss F.S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board. *Chem. Ind.* 1964. Vol. 11. P. 443–447.