

УДК: 504.064.3:574:504.453 (045)

РЕГІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

В. М. Удод, С. М. Маджд, Я. І. Кулинич

Національний авіаційний університет

просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com

Представлено багаторічну динаміку змін структурно-функціональних особливостей розвитку техногенно зміненої водної екосистеми (2006-2016 р). В якості об'єкту дослідження використано комплексну концептуальну систему річок Нивка та Ірпінь, які об'єднані між собою гідрографічно і функціонально. Дослідження показало, що таке об'єднання доцільне лише для невеликих річок рибогосподарського та рекреаційного призначення. Встановлено, що техногенно змінені водні системи є відносно стабільними системами (в межах відповідного класу якості вод) зі своїми процесами пластичного метаболізму, балансом екологічної ємності та техноємності, що є складовими механізми біотичної саморегуляції.

Ключові слова: концептуальна водна екосистема, структурно-функціональна організація, гідроекосистема, екологічні індикатори.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЁННЫХ ВОДНЫХ ЕКОСИСТЕМ

В. М. Удод, С. М. Маджд, Я. И. Кулинич

Национальный авиационный университет

просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com

Представлена многолетняя динамика изменений структурно-функциональных особенностей развития техногенно изменённой водной экосистемы (2006-2016 г). В качестве объекта исследования использовано комплексную концептуальную систему рек Нивка и Ирпень, которые объединены между собой гидрографически и функционально. Исследование показало, что такое объединение целесообразно лишь для небольших рек рыбохозяйственного и рекреационного назначения. Установлено, что техногенно изменённые водные системы являются относительно стабильными системами (в пределах соответствующего класса качества вод) со своими процессами пластического метаболизма, балансом экологической емкости и техноемкости, которые являются составными механизма биотической саморегуляции.

Ключевые слова: концептуальная водная экосистема, структурно-функциональная организация, гидроэкосистемы, экологические индикаторы.

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ. Необхідність покращення екологічного стану малих та середніх річок України, розвиток та функціонування яких характеризується кількісним та якісним виснаженням – одне із важливих завдань екологічних досліджень. Адже малі та середні річки відіграють важливу роль в соціальному на економічному житті країни. Зміна їх екологічного стану призведе до того, що вони перестануть бути водоймами рибогосподарського та рекреаційного призначення.

Зміна сукупності параметрів водного середовища річок сприяє порушенню гомеостазу і формуванню техногенно змінених водних екосистем (ТЗВЕ) різного ступеня забрудненості. Водночас, екологічні еквіваленти промислового техногенезу [1, 2] пов'язані з формуванням в екосистемах двох протидіючих напрямків – техногенний потік і гідробіонти (ушкоджуюча дія речовин антропогенного походження на біоту та поява пристосувальних реакцій біоти до них) обумовлюють певний рівень трансформації їх структурно-функціональної організації в межах ТЗВЕ.

Для з'ясування розвитку ТЗВЕ необхідно застосувати екосистемний підхід [3]. Такий підхід передбачає комплексне дослідження, стосовно встановлення наукових закономірностей розвитку ТЗВЕ р. Ірпінь за довгостроковий період, за умов різного рівня забрудненості екоотоксикантами середовища

існування гідробіонтів та різної реакції біоти на ці зміни. За таких умов перспективним напрямком дослідницьких робіт є використання єдиної концептуальної ТЗВЕ малої та середньої річки.

Метою роботи є дослідження техногенно трансформованих водних екосистем.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для з'ясування особливостей структурно-функціональної організації гідроекосистеми р. Ірпінь, як ТЗВЕ, обрали такі пріоритети досліджень:

1) за умови постійної дії на гідроекосистеми специфічних модифікуючих (антропогенних) факторів, об'єктом дослідницьких робіт обрано комплексну концептуальну гідроекосистему р. Ірпінь та її правої притоки р. Нивки. В такій системі взаємозв'язки та взаємодії між екологічними та антропогенними факторами пов'язані гідрографічно та функціонально;

2) двостороння взаємодія у системі «техногенний вплив – наслідки впливу» дає змогу охарактеризувати особливості структурно-функціональної організації водної екосистеми р. Ірпінь;

3) створення інформаційно-методологічної бази екологічних індикаторів, дозволило визначити трансформацію механізму біотичної саморегуляції ТЗВЕ (індикатори: дії, стану та реагування на техногенні впливи).

Запропонований напрямок досліджень дозволяє здійснити у просторі і часі прогноз подальшого розвитку ТЗВЕ р. Ірпінь з метою впровадження необхідних природоохоронних заходів.

Протяжність концептуальної водної екосистеми приблизно 55 км: від гирла р. Нивки і до гирла р. Ірпінь – Київського водосховища.

Вибір такої об'єднаної системи пов'язаний з тим, що р. Нивка, протікаючи в м. Київ, знаходиться під постійним техногенним впливом зворотних вод від авіапідприємств і тому є основним дестабілізуючим чинником розвитку ТЗВЕ [4, 5]. Якісний стан річки характеризується V класом забрудненості вод (брудна вода), коли спостерігаються такі зміни в її функціонуванні: перевищення ГДК речовин антропогенного походження в десятки разів, утворення вторинних зон забруднення, зниження самовідновної здатності [2], і т.д. Таким чином, за наявності змін речовинно-енергетичного балансу водних екосистем, речовинної кумуляції забруднюючих речовин, вода р. Нивка може слугувати основним джерелом техногенного забруднення для р. Ірпінь.

Річка Ірпінь є об'єктом рибогосподарських та рекреаційних призначення, протікає в Житомирській та Київській областях, відноситься до басейну річки Дніпро, гідрографічним зв'язком між ними є Київське водосховище. У даній роботі розглядається кінцева ділянка річки, довжиною 45 км, перед впадінням її у Київське водосховище.

Даний дослідницький підхід дає змогу охарактеризувати всі досліджувані ділянки підсистеми р. Ірпінь за принципом екологічної узгодженості функціонування їх в межах ТЗВЕ. Таке поєднання річок в єдину концептуальну гідроекосистему є доцільним для застосування на малих та середніх річках, що зумовлено їх гідрологічними характеристиками.

В роботі використані первинні інформаційні матеріали за гідрохімічними та гідробіологічними показниками стану р. Ірпінь, за десять років, за державними контрольними гідростворами: с. Мостище, смт. Гостомель, с. Козаровичі [6–8]. Дані екологічного моніторингу систематизовано, проаналізовано (всього близько 1000 показників) і певна їх частина використана безпосередньо в даній роботі (600 показників) для характеристики особливостей структурно-функціональної організації ТЗВЕ.

Якісний склад вод ТЗВЕ визначали користуючись стандартними методиками [9, 10]. Кількісну екологічну характеристику ТЗВЕ р. Ірпінь для визначення причин та наслідків змін їх структурно-функціональної організації здійснювали на основі методики застосування кількісних екологічних ін-

дикаторів. Інтенсивність процесів пластичного метаболізму визначали [12].

У попередніх публікаціях [5] зазначено, що надходження брудних вод V класу якості від р. Нивки, змінює речовинно-енергетичний баланс ТЗВЕ р. Ірпінь та порушує гомеостаз їх розвитку. Засвідчено, що техногенна дія екотоксикантів антропогенного походження призводить до порушення балансу екологічної ємності за рахунок формування в межах ТЗВЕ балансу техноємності. Екологічна ємність є важливим критерієм, який характеризує збалансоване функціонування екосистеми. Екологічна ємність – це узагальнена характеристика, що кількісно відповідає максимальному техногенному навантаженню, яке може витримувати впродовж тривалого періоду сукупність реципієнтів та екологічних систем території без порушення їхніх структурних і функціональних властивостей.

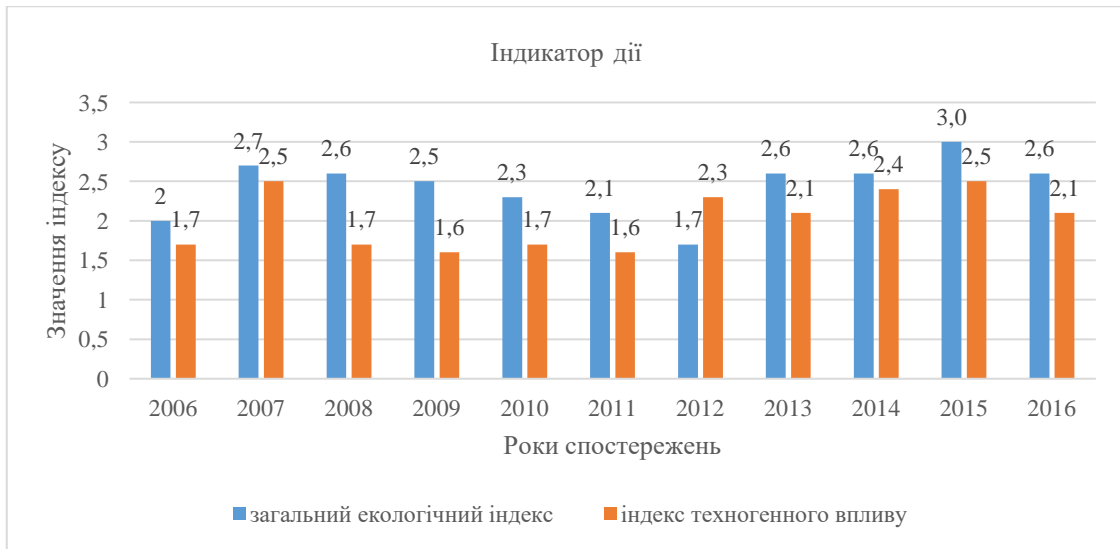
Слід зазначити, що мінливість стану ТЗВЕ р. Ірпінь, на наш погляд, пов'язана з двома протилежними тенденціями розвитку гідроекосистем. Перша тенденція – це ушкоджуюча дія екотоксикантів, а друга – захисна функція гідробіонтів, завдяки формуванню пристосувальних реакцій біоти до зміни свого абіотичного середовища існування. Тобто, відповідь біоти на зміну свого водного середовища існування проявляється через зміну якості природних вод (табл. 1)

Таблиця 1 – Усереднені дані класу якості вод ТЗВЕ р.Ірпінь за десятирічний період

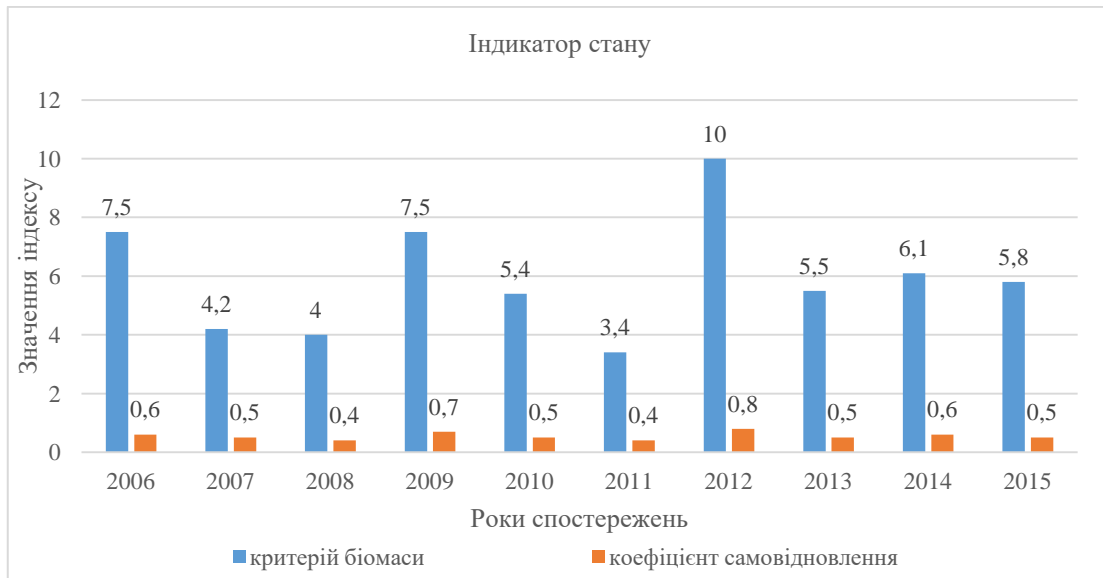
Контрольні гідроствори	Клас якості води, %		
	III клас	IV клас	V клас
с. Мостище	2	98	-
сmt. Гостомель	-	98	2
с. Козаровичі	-	100	-

Аналіз отриманих результатів свідчить, що стабільність розвитку ТЗВЕ р. Ірпінь характерна для IV класу якості води, що підтверджує статус ТЗВЕ. Такі висновки обумовлюють визначення структурно-функціональної організації ТЗВЕ р. Ірпінь з урахуванням поетапного переміщення води (на протязі 55 км) від авіапідприємств розміщених на р. Нивка до гирла р. Ірпінь.

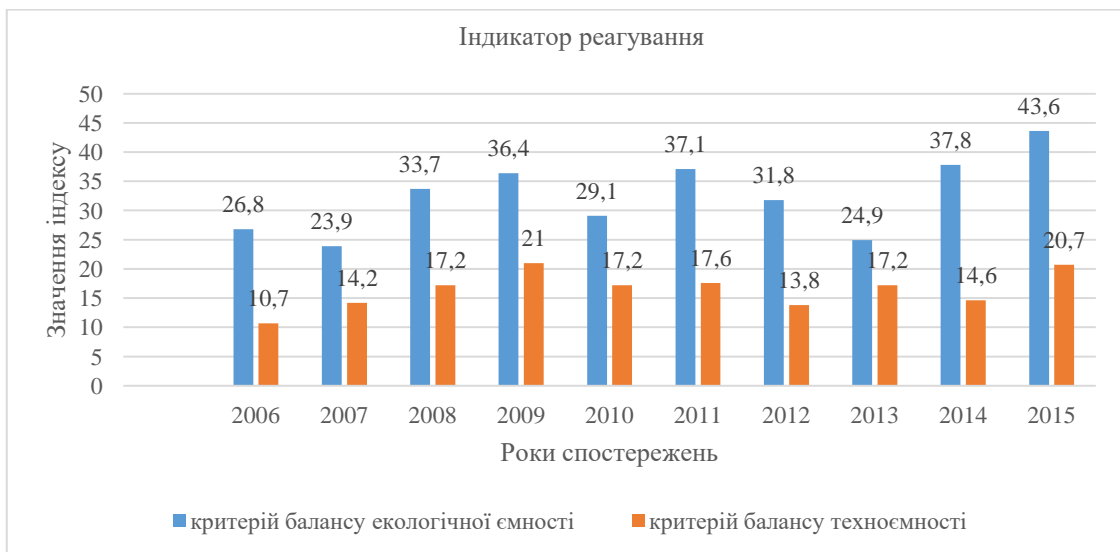
Відповідно до створеної інформаційно-методологічної бази були розраховані екологічні індикатори структурно-функціональних змін ТЗВЕ (рис. 1).



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Якісна характеристика причини та наслідків розвитку ТЗВЕ:
 а) враховуючи індикатори дії; б) враховуючи індикатори стану;
 в) враховуючи індикатори реагування

Аналіз даних, представлених на рис. 1, свідчить про те, що існує повна узгодженість між екологічними показниками та їх параметрами (екологічними індикаторами розвитку ТЗВЕ):

→ індикатор дії (загальний екологічний індекс, індекс техногенного впливу);

→ індикатор стану (зміна речовинно-енергетичного балансу, критерій біомаси, індекс самовідновлення);

→ індикатор реагування на дію техногенних впливів (критерій балансу екологічної ємності, критерій балансу техноємності).

Загальний екологічний індекс розраховується за індексом забруднення води (ІЗВ), який є єдиним державним нормативним критерієм стосовно встановлення класу якості води. Даний стандарт передбачає визначення класу якості води за такими складовими водного середовища:

- показниками сольового складу;
- показниками трофо-сапробіологічного складу;
- показниками специфічних токсичних інгредієнтів.

Для розрахунку індексу техногенного впливу необхідно: значення концентрацій забруднюючих речовин, коефіцієнт самоочищення, значення ГДК для забруднюючих речовин.

Критерій біомаси характеризує живучість гідробіоценозів за умов зміни середовища їх існування (внаслідок техногенного впливу). Коефіцієнт самовідновлення характеризує здатність водних екосистем до самовідновлення, за умов дії техногенного впливу. Внаслідок порушення балансу екологічної

ємності починаються процеси формування техноємності в межах ТЗВЕ.

Найбільш «тривожним» показником якості води є втрата балансу екологічної ємності, яка становить:

- для помірно-забруднених вод – 10,7-13,8%;
- для забруднених вод – 14,2-18,4%;
- для брудних вод – 18,7-21%.

Але, в той же час, обнадійливим є той факт, що коефіцієнти самовідновлення знаходяться на рівні 0,6-0,8 (середньо допустимий – 0,3, максимальний – 1) і вказує на те що, в ТЗВЕ відбуваються процеси самоочищення. Безумовно, таке протиріччя пов'язане з компенсаційним механізмом біотичної саморегуляції, який постійно реагує на дію техногенних чинників.

Для з'ясування цих протиріч розвитку ТЗВЕ нами були проведені дослідження щодо визначення інтенсивності процесів пластичного метаболізму у водних екосистемах. Встановлено, що інтенсивність пластичного метаболізму залежить від рівня речовинно-енергетичного балансу в них:

- для III класу якості вод – 2,3;
- для IV класу якості вод – 1,9;
- для V класу якості вод – 0,5.

Результати досліджень свідчать, що розвиток ТЗВЕ пов'язаний з речовинно-енергетичною кумуляцією, що відповідає рівню ушкоджуючої дії, або захисної тенденції їх розвитку та є складовою пластичного метаболізму. Крім того, гомеостаз розвитку ТЗВЕ р. Ірпінь залежить від зворотних зв'язків між екологічними та антропогенними факторами, коли в гідроекосистемі досягається збереження компенсаційних механізмів біотичної саморегуляції (рис. 2).

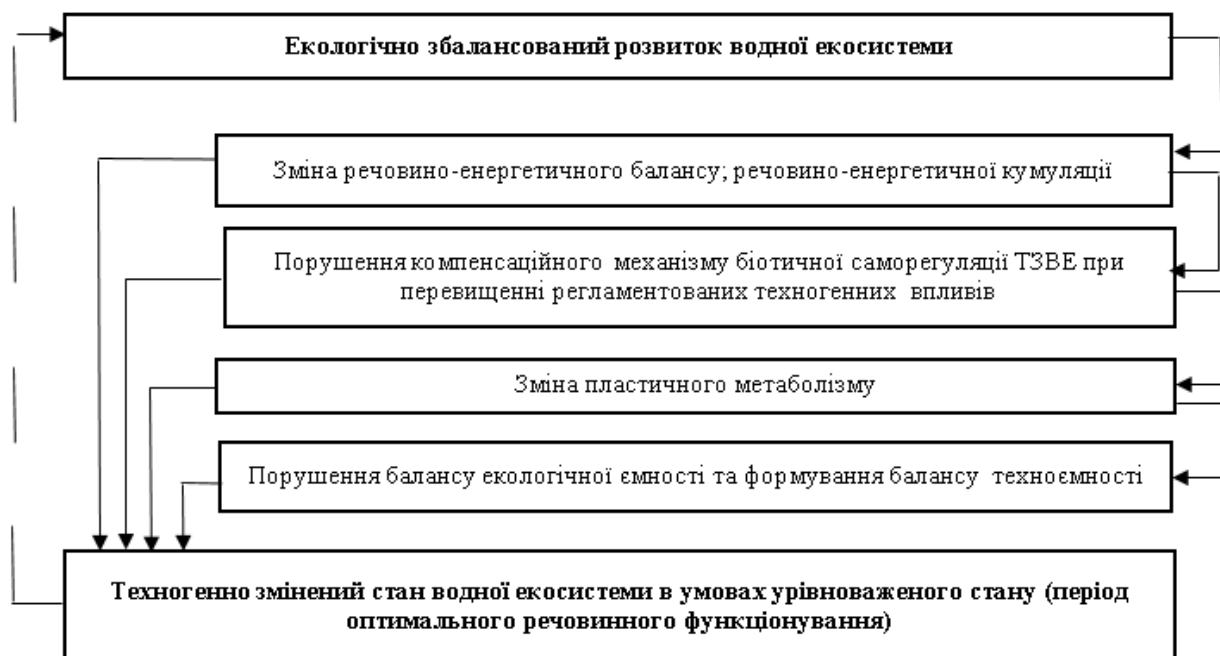


Рисунок 2 – Особливості механізму трансформації еколого-збалансованої водної екосистеми в техногенно змінену водну екосистему

Примітка: —> прямі зв'язки, —> зворотні зв'язки

Підтвердженням збереження компенсаційного механізму біотичної саморегуляції можуть стати рівні інтенсивності компенсаційних механізмів біотичної саморегуляції в залежності від якості стану ТЗВЕ. Так, кількісна характеристика вод ТЗВЕ має такі градації:

- помірно-забруднені води – 78,5;

- забруднені води – 64,2;

- брудні води – 41,5.

Таким чином, екозбалансований розвиток ТЗВЕ може бути зведено до наступної матричної основи яка реалізується поетапно (рис. 3):

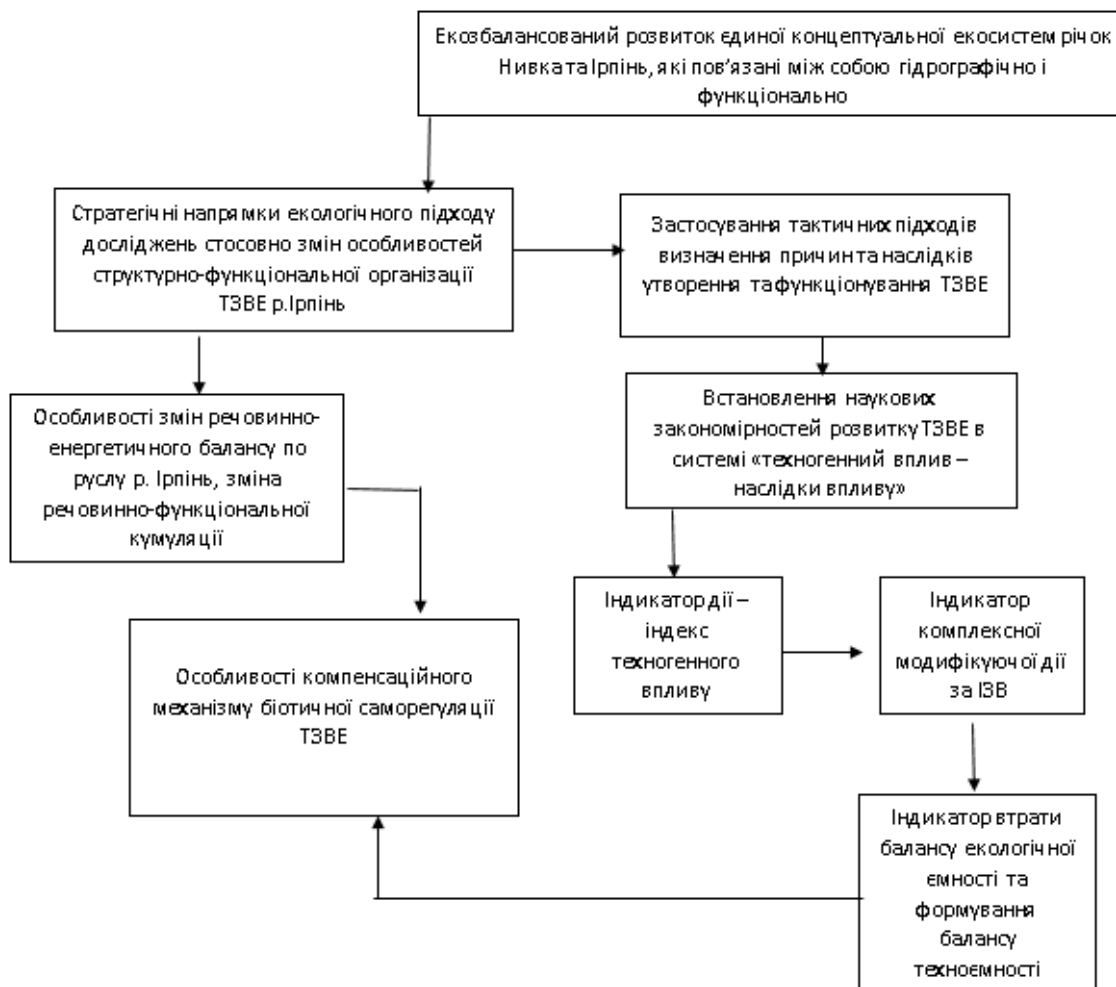


Рисунок 3 – Причини та наслідки утворення та функціонування ТЗВЕ

На рис. 3 представлені причини та наслідки утворення ТЗВЕ на прикладі концептуальної водної системи річок Нивка та Ірпінь. Така концептуальна система може слугувати моделлю для прогнозування ТЗВЕ малих та середніх річок України. Для визначення структурно-функціональних особливостей яких необхідно застосовувати екологічний підхід, який базується на кількісних екологічних індикаторах.

ВИСНОВКИ.

1. Підтверджено, що в якості об'єкту досліджень може бути обрана єдина концептуальна ТЗВЕ річок Нивка та Ірпінь, які об'єднані між собою гідрографічно та функціонально. Такий об'єкт досліджень доцільно використовувати для невеликих річок, які мають рибогосподарське та рекреаційне призначення.

2. Встановлено, що ТЗВЕ є відносно стабільними системами в межах процесів, які характеризуються техногенно зміненим компенсаційним механізмом біотичної саморегуляції для: помірно-забруднених вод – 78,5; забруднених вод – 64,2; брудних вод – 41,5.

3. З'ясовано, що механізм біотичної саморегуляції вод є комплексним інтегральним показником, визначальними характеристиками якого слугують рівні змін речовинно-енергетичного балансу, критерія біомаси, коефіцієнта самовідновлення вод, інтенсивності пластичного метаболізму, балансу екологічної ємності та формування балансу техноємності.

4. Встановлені причини і наслідки утворення ТЗВЕ в системі «техногенний вплив – наслідки впливу». Показана структурно-функціональна узгодженість між екологічними індикаторами дії, стану та реагування на техногенні впливи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Екологічний підхід в оцінці ефективності внутрішньоводоймних процесів водних систем річок Кальміус та Інгулець / В.М. Удод, І.Л. Вільдман, О.Г. Жукова. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – № 2 (85). – С. 161–165.

2. Инженерная экология / И.И. Мазур, О.И. Молдванов, В.М. Шитов. – М: Высшая школа, 1996. – Т. 1 – 637 с.

3. Implementing the Ecosystem Approach for Freshwater Ecosystems – A case study on the Water Framework Directive of the European Union / V. Hartje, A. Klaphake. – Bonn, Germany: BfN, 2006. – 65 p.

4. Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації / О.М. Міхеєв, С.М. Маджд, О.І. Семенова, Т.І. Дмитруха // Хімія і технологія води. – 2015. – № 3 – С. 574–581.

5. Маджд С.М. Підвищення рівня екологічної безпеки поверхневих і ґрунтових вод в районі аеропорту // Вісн. НАУ. – 2016. – № 3. – С. 69–73.

6. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Часть 1: Реки и каналы. Часть 2: Озера и водохранилища. Выпуск 2. Бассейн Днепра. / Государственный комитет Украины по гидрометеорологии. Центральная гео- физическая обсерватория. 2005–2015гг. – К: УОП Укр ГМЦ, 2006–2016.

7. Екологічний паспорт Київської області [Електронний ресурс] // Мін. Екології та природних

ресурсів України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/kyivska>.

8. Данні Дніпровського басейнового управління водних ресурсів по програмі радіологічного та гідрохімічного моніторингу поверхневих вод річки Ірпін у межах Київської обл. за 2006-2015 рр. [Електронний ресурс] / Державне агентство водних ресурсів. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://dbuwr.com.ua>

9. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К. : Ніка-Центр, 2001. – 262 с.

10. Методика розрахунку антропогенного навантаження і класифікації екологічного стану басейнів малих річок України // А.В. Яцик, Л.Б. Бишовець, О.М. Петрук, А.П. Чернявська. – К. 2007. – 71 с.

11. Удод В.М., Яцив М.Ю. Комплексные критерии экологической оценки эффективности внутриводоемных процессов // Химия и технология воды. – 2013. – 35, № 6. – С. 518–532.

12. Васюков А.Е. Химические аспекты экологической безопасности поверхностных водных объектов // Химия и технология воды. – 2005. – 27, № 3. – С. 294–308.

REGIONAL FEATURES OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF TECHNOGENICALLY TRANSFORMED AQUATIC ECOSYSTEMS

V. Udod, S. Madzhd, Ya. Kulynych

National Aviation University

prosp. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com

Purpose. To evaluate technogenic transformation of aquatic ecosystems which is one of the most important problems of environmental studies. The origin and consequences of anthropogenic transformation of the river ecosystem were generally characterized and investigated, as an integrated conceptual aquatic ecosystem. The aquatic ecosystem consist of the Nyvka and Irpin rivers, both aquatic systems belong to the Dnieper basin, and the permanent trophic connection makes it possible to consider them as the conceptual majority of interconnected constituents. **Methodology.** The long term monitoring data have been used. Chemical parameters and biological components of rivers ecosystem have been analyzed with the help of standardized methods. The use of ecological indices of structural and functional opportunities of aquatic ecosystems to extend the opportunities of standardized methods has been proposed as well. **Results.** The structural and functional transformation of the human-affected Irpin and Nyvka aquatic ecosystem was investigated due to development and introduction of the ecological indices of impact, condition and response assessment. Also, we analyzed: balance of ecological capacity, plastic metabolism, self-biotic mechanism, technogenic impact and other characteristics with the help of ecological indices. **Originality.** For the first time, the origin and consequences of anthropogenic transformation of the aquatic ecosystem, as an integrated conceptual model of river systems, has been generally characterized and investigated. The basic principle of keeping safe functioning of the aquatic ecosystem is the guarding of their biotic self-regulation mechanism changes (fundamentals of the water bodies functioning). **Practical value.** The new methodology for regulation structural and functional opportunities of technogenic transformed aquatic ecosystems has been developed. This methodology interacts with international guidelines and recommendations of environmental sustainability. Ecological indices aimed at achieving sustainable development goals. They can provide an early warning to prevent environmental setback It has been proposed to consider and implement of the ecological assessment of the Irpin River as integrated conceptual aquatic ecosystem, which consists of a small and medium river. It has been estimated the interaction of natural and anthropogenic factors and their consequences in the system “natural environment (the Irpin river) – human-transformed environment (the Nyvka river)”. It has been established that aquatic ecosystems, transformed under technogenic impact, are stable systems within the class of their water quality

Key words: conceptual aquatic ecosystem, structural and functional organization, aquatic ecosystems, environmental indices

REFERENCES

1. Udod, V.M., Vildman, I.L., Zhukova, O.H. (2014) Ekolohichnyy pidkhid v otsyntsi efektyvnosti vnutrishn'ovodoymenkh protsesiv vodnykh system richok Kal'mius ta Inhulets [Ecological approach to efficiency assessments of intrabasin processes of

theKalmius and Ingulets river hidrologic system] *Ostrohradskyi National University*, issue 2 (85), pp.161–165.

2. Mazur, I.I., Moldvanov, O.I., Shitov, V.M. (1996) *Inzhenernaja jekologija* [Engineering ecology], Vysshaja shkola, Moscow, vol.1, 637 p.

3. Hartje, V., Klaphake, A. (2006) *Implementing the Ecosystem Approach for Freshwater Ecosystems – A case study on the Water Framework Directive of the European Union*. Bonn, Germany, BfN, 65 p.
4. Mikhyeyev, O.M., Madzhd, S.M., Semenova, O.I., Dmytrukha, T.I. (2015) Adaptatsiya hidrofitynoi systemy dlya ochystky stichnykh vod pidpryemstv tsyvil'noyi aviatsiy., *Journal of Water Chemistry and Technology*, no 3, pp. 574–581.
5. Madzhd, S.M. (2016) Pidvyshchennya rivnya ekologichnoyi bezpeky poverkhnevyykh i gruntovykh vod v rayoni aeroportu [Environmental safety improvement of surface and ground water contamination at the airport area], *Proceedings of the National Aviation University*, no 3, pp. 69-73.
6. “The state water cadastre. Annual data on the quality of surface land waters. Part 1: Rivers and channels. Part 2: Lakes and reservoirs” (2006–2016), iss. 3, the Dnipro river, The Ukrainian state Committee on Hydrometeorology. Central geophysical Observatory, 2005–2015, UkrGudromet, Kyiv, Ukraine.
7. Ecological passport of Kiev region in 2016. [Electronic resource]. Min. Ecology and Natural Resources of Ukraine. Available at: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/kyivska> (accessed 28.05.2017).
8. Data of Dnieper basin management of water resources program radiological and hydrochemical monitoring of surface water within the river Irpen Kyiv obl. 2006-2015. State Agency of Water Resources Available at: <http://dbuwr.com mode.ua> (accessed 28.05.2017).
9. Snizhko, S.O. (2006) *Otsinka ta prohnozuvannya yakosti pryrodnykh vod* [Theory and methods of regional hydrochemical analysis], Nika-Tsentr, Kyiv, pp. 264-281.
10. Yatsyk, A.V., Byshovets, L.B., Petruk, O.M., Chernyavska, A.P. (2007) *Metodyka rozrakhunku antropohennoho navantazhennya i klasyfikatsiyi ekologichnoho stanu baseyniv malykh richok Ukrayiny* [The method of calculation of anthropogenic load and classification of ecological state of small rivers basins Ukraine] Kyiv, Ukraine, Undivep, 71 p.
11. Udod, V.M., Yatsyv, M.Yu. (2013) *Kompleksnyie kriterii ekologicheskoy otsenki effektivnosti vnutrivodoemnyih protsessov* [Complex Theories of Ecological Assessment of Efficiency of Intrareservoir Processes]. *Chemistry and Technology of Water*, Vol. 35, no 6, pp. 518-532.
12. Vasiukov, A.I. (2005) *Himicheskie aspektyi ekologicheskoy bezopasnosti poverhnostnyih vodnyih obektov* [Chemical Aspects of Ecological Safety of the Surface Water Objects], *Chemistry and Technology of Water*, Vol. 27, no 3, pp. 294-308.

Стаття надійшла 07.06.2017.