

**УДК 602.44**

**Кононцев С. В., к.т.н., докторант** (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ), e-mail: akula13@ukr.net

## **ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОБІОНТІВ РІЗНИХ ТРОФІЧНИХ ГРУП У ПРОЦЕСАХ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНОЇ ВОДИ УЗВ**

**Концепція інтегрованої мультитрофічної аквакультури (ІМТА) для очищення циркуляційної води прісноводних УЗВ дозволяє ефективно використовувати потенціал кормів та суттєво знижувати кількість утворених при вирощуванні риб відходів. В процесі культивування у інтегрованій аквасистемі об'єкти субкультури трансформують основні забруднення у власну біомасу, яка може бути використана для годівлі риб. У роботі обґрунтовано доцільність культивування в очисних спорудах вищих водних рослин, молюсків та вищих ракоподібних.**

**Ключові слова:** біологічне очищення води, УЗВ, інтегрована мультитрофічна аквакультура.

Рибницькі господарства, що працюють як установки із замкнутим водозабезпеченням (УЗВ), за умови ефективного очищення забрудненої у басейнах води можуть забезпечувати повторне використання води в межах 95-98% від загального водообігу. Така характеристика є підґрунтям економічної доцільності підтримки оптимальних параметрів при вирощуванні промислово цінних видів риб та дозволяє знизити до мінімуму залежність від природних джерел водопостачання. Тому відновлення якості води, що надходить з рибницьких басейнів, відіграє поряд з якістю кормів вирішальну роль у забезпеченні швидких темпів росту риб при вирощуванні їх у установках із замкнутим водозабезпеченням. Основні проблеми, що виникають при очищенні циркуляційної води УЗВ, пов'язані із кількісними та якісними характеристиками основних забруднень. Порівняно невисокі концентрації завислих речовин [1], їх погані седиментаційні властивості та швидкий перехід значної частини у розчинену форму [2] обумовлюють низьку ефективність використання методів відстоювання, значні тепловтрати та витрати промивної води при використанні барабанних механічних фільтрів. Високе співвідношення розчинених органічних сполук до амонійного Нітрогену є причиною нестабільної роботи біофільтрів, у яких одночасно із мінералізацією со-

рбованих органічних сполук мають відбуватись процеси нітрифікації [3; 4]. Попри об'єктивну необхідність вилучення із технологічної води нітратів, що мають тенденції до накопичення як кінцеві продукти нітрифікації, реалізація технології денітрифікації у сучасних УЗВ суттєво обмежується негативними чинниками, якими вона супроводжується: необхідність використання метанолу або інших джерел органічного Карбону, ризику утворення сірководню та нітритів внаслідок часткового протікання процесу [5]. Тому в умовах прісноводних та морських рибницьких комплексів, що працюють за принципом УЗВ, актуальним залишається питання розробки ефективної та надійної технології очищення циркуляційної води.

Метою даної роботи є обґрунтування біотехнічних основ використання організмів різних трофічних рівнів у процесах відновлення якості циркуляційної води УЗВ, що дозволить забезпечити високу ефективність очищення за основними забрудненнями та отримати мінімальні кількості відходів, утворених в процесі очищення.

Найбільшою екологічною доцільністю та раціональною організацією виробничих процесів характеризуються рибницькі комплекси, у яких відновлення якості забрудненої води відбувається згідно з концепцією інтегрованої мультитрофічної аквакультури (Integrated multi-trophic aquaculture systems) – ІМТА. Дана концепція передбачає використання побічних продуктів, утворених у процесі вирощування основного об'єкта, в якості поживного субстрату для інших культивованих у системі організмів. Субкультура гідробіонтів, які переважно належать до організмів нижчих трофічних рівнів, дозволяє максимально повно використовувати потенціал рибницьких кормів, адже основну частину органічних забруднень складають неперетравлені залишки кормів; знизити у декілька разів обсяги утворених відходів та забезпечити високу ефективність видалення із забрудненої води основних біогенних елементів. Найбільш інтенсивно інтегровані мультитрофічні аквасистеми розвиваються на базі морських господарств, що пов'язано з високою харчовою цінністю вирощеної разом із рибою субпродукції (водорості, голкошкірі, кишковопорожнинні, молюски), відсутністю ефективних шляхів очищення від утворених метаболітів риб при вирощуванні їх в акваторії, а також жорсткими екологічними вимогами до діяльності таких господарств [6; 7].

В умовах прісноводної аквакультури в УЗВ при реалізації концепції ІМТА та виборі гідробіонтів для субкультури необхідно брати до уваги наступні характеристики:

- швидкі темпи метаболізму та пристосованість до умов забрудненої води УЗВ;

- можливість ефективного утримання і розмноження гідробіонтів у проточних біореакторах;
- висока кормова цінність.

Оскільки основним виробничим процесом у будь-якому випадку залишається вирощування риби, першочерговим завданням інтегрованої з УЗВ системи культиваторів слід вважати вилучення та трансформацію забруднень циркуляційної води, що містяться як у розчиненій, так і в нерозчиненій формах. Одним із вдалих прикладів реалізації концепції ІМТА в умовах прісноводних рибницьких комплексів є інтеграція у блок очищення технологічної води системи аквапоніки. Таке рішення можна назвати першим кроком до повносистемної технології ІМТА, але навіть воно забезпечує значно вищу ефективність очищення води від сполук Нітрогену та Фосфору порівняно із класичною технологією нітрифікації-денітрифікації. Вирощування у системі аквапоніки овочів та зелені може відбуватись цілорічно та характеризується екологічною чистотою. Водночас, потреба у залученні більш широкого кола гідробіонтів в якості об'єктів субпродукції пов'язана із необхідністю очищення циркуляційної води УЗВ також і від органічних забруднень, значна частина яких міститься у завислому стані. Окрім того, культивування овочевих рослин у гідропонних системах характеризуються достатньо складною технологією, реалізація якої в межах УЗВ не завжди виявляється доцільною.

Більшість прісноводних гідробіонтів тваринного світу, які теоретично можливо було б вирощувати у субкультури із рибами, не представляють потенційної цінності як харчова продукція для людини. На нашу думку, в межах інтегрованої у прісноводну УЗВ системи очищення на даний час більш доцільно вирощувати кормові організми для культивованих риб. У такому разі інтегрована аквасистема забезпечить маловідходне виробництво та ефективне вилучення основних забруднень з циркуляційної води. Аналіз процесів самоочищення, що відбуваються у природних водоймах, дозволяє обрати найбільш перспективні для культивування в умовах очисних споруд групи гідробіонтів, які відіграють вагомий роль у кругообігу сполук Нітрогену та трансформації органічних речовин і, водночас, характеризуються кормовою цінністю. Об'єктивна потреба у залученні до процесів відновлення якості води УЗВ широкого спектру гідробіонтів пояснюється еколого-біологічними аспектами функціонування водних екосистем та технологією вирощування риб у замкнутих установках. Особливості метаболізму мікроорганізмів (бактерій, одноклітинних водоростей та найпростіших), фізико-хімічний склад забруднень води рибницьких басейнів, а також вимоги риб до кондицій очищеної

води унеможливають ефективне відновлення якості забрудненої у рибницьких басейнах води лише завдяки мікрофлорі. Так само, як жодна природна водойма, забруднена біогенними елементами, не зможе у повній мірі відновити якість води при умові, що в ній мешкатиме лише бактеріальна складова, так і замкнений контур рибницького господарства буде переобтяжений сполуками Нітрогену та фосфатами при умові, що у блоці біологічного очищення УЗВ буде працювати банальний біофільтр із денітрифікатором. Необхідно зазначити, що оптимальні для риб діапазони більшості фізико-хімічних показників води цілком задовольняють як мікробну складову біологічних очисних споруд, так і основну масу гідробіонтів вищої організації. Тому для включення у процеси відновлення якості води УЗВ таких очисних агентів, як вищі водні рослини, вищі ракоподібні, молюски та черви відсутня необхідність у кардинальних змінах параметрів водного середовища. Це дозволяє ефективно використовувати біологічний потенціал певних гідробіонтів у одному контурі із рибницькими ємностями та мінімізує витрати на забезпечення функціонування біореакторів.

Властивості та склад твердих домішок, якими характеризується забруднена технологічна вода, дозволяють розглядати їх як доступний субстрат для багатьох груп гідробіонтів-детритофагів. Їх основною задачею в аспекті відновлення якості води УЗВ може бути підвищення рівня мінералізації затриманих часток, укрупнення та зменшення їх загальної кількості. Потенційно таке завдання можуть виконати представники червононогих молюсків, водних олігохет та ракоподібних, що характеризуються порівняно швидкими темпами росту, пристосованістю до умов тепловодних господарств УЗВ, високою кормовою цінністю для риб. Доцільність вирощування у очисному комплексі усіх трьох груп обґрунтована їх відмінностями у метаболізмі, отже, і роль кожної групи у процесах трансформації органічної речовини буде відрізнатись. Окрім того, побічні продукти (метаболіти), що будуть утворюватись у культиваторах при вирощуванні одної групи, можуть бути використані як поживний субстрат для наступної групи, що з потоком води надійде у культиватор. Доцільність використання на першому етапі обробки саме червононогих молюсків пов'язана із їх пристосованістю до дефіциту кисню у воді та порівняно швидкими темпами метаболізму. Як зазначено в [8] при споживанні детриту, який формується переважно на основі фекалій риб та залишків кормів, молюски у процесі мінералізації зменшують його об'єм майже вдвічі, а у процесі приросту біомаси їх буде асимільовано близько 45% Нітрогену та 40% Фосфору. Основною функцією молюсків у системі мультитрофічної інтегрованої аквакультури буде мі-

нералізація дрібнодисперсних домішок із одночасним їх укрупненням. Види молюсків, які є перспективними для культивування у очисних спорудах (*Physa fontinalis*, *Planorbis corneus*), зішкрібають їжу її твердої поверхні, по якій безпосередньо рухаються, або заковтують її, якщо субстратом є детрит. Тому в умовах біореактора необхідно забезпечити умови для сорбції забруднень на інертному носіїві. Сорбовані дрібнодисперсні та розчинені забруднення на початковому етапі можуть бути трансформовані мікрофлорою, яка буде розвиватись в умовах біореактора. У подальшому такі агломерації споживатимуться молюсками, які зішкрібаючи їх, будуть звільняти місце на носіїві для сорбції нових порцій забруднень. Укрупнені та мінералізовані тверді метаболіти молюсків можуть бути легко видалені із споруди, оскільки вони швидко осідають та характеризуються стійкістю до механічного розпаду у воді. Інші гідробіонти, які будуть використані на наступних етапах очищення, мають виконувати функції мінералізації завислих речовин, що не затримались у біореакторі із молюсками, та контролю чисельності мікрофлори, яка також буде виноситись із біореактора. Одними з найбільш перспективних агентів для даного завдання можна назвати представників вищих ракоподібних – прісноводних креветок (*Neocaridina heteropoda*, *Caridina cantonensis*). На відміну від молюсків, креветки чутливі до дефіциту кисню у воді, тому у біореакторі, окрім інертного носія типу «Вія» або «Йорж», необхідно забезпечити аерацію та передбачити конструктивні рішення для унеможливлення виносу креветок з очищеною водою. Вирощування у субкультури інших видів креветок, що можуть характеризуватись харчовою цінністю для людини, потребує додаткового обґрунтування та забезпечення більш сприятливих умов для їх розвитку.

Оскільки зазначені гідробіонти у процесі життєдіяльності виділяють у воду також і розчинені метаболіти (переважно сполуки Нітрогену та Фосфору), виділяють у воду вуглекислий газ у процесі дихання, необхідно забезпечити видалення з води таких забруднень. Найбільш раціональним шляхом очищення технологічної води від сполук Нітрогену та Фосфору є використання плаваючих водних рослин ряски малої (*Lemna minor* L.) та вольфії (*Wolffia arrhiza*), приріст біомаси яких ефективно утилізується в якості поживної підкормки для риб. Таким чином, фітореактор із рясковими може розглядатись як останній етап біологічного очищення води, на якому, окрім видалення розчинених біогенних елементів, буде відбуватись насичення води киснем та надання їй найвищих кондицій якості.

Отже, реалізація концепції ІМТА шляхом культивування в інтегрованій системі гідробіонтів різних трофічних груп, що мають кормову цінність для риб, дозволить забезпечити ефективне очищення води та знизити кількості утворених відходів. Розрахунок біореакторів для очищення води УЗВ необхідно здійснювати, виходячи з концентрацій забруднень у циркуляційній воді та очисної потужності споруд за визначеними забрудненнями.

1. Cripps S. J., Kelly L. A. Reductions in wastes from aquaculture. *Aquaculture and Water Resource Management*. – Oxford. – UK. – 1996. – Pp. 166–201.
2. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems / Schneider O., Sereti V., Eding E. H., Verreth J.A.J. // *Aquac. Eng.* – 2005. – 32. – Pp. 379–401.
3. Léonard N., Guiraud J. P., Gasset, E., Caillères, J. P. and Blancheton, J. P. Bacteria and nutrients – nitrogen and carbon – in a recirculating system for sea bass production // *Aquaculture Engineering*. – 2002. – 26. – Pp. 111–127.
4. Michaud L., Blancheton J. P., Bruni V. and Piedrahita R. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters // *Aquacultural Engineering*. – 2006. – 34. – Pp. 224–233.
5. Lee P. G., Lea R. N., Dohmann E., Prebilsky W., Turk, P. E., Ying, H., Whitson, J. L. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem // *Aquacult. Eng.* – 2000. – 23. – Pp. 37–59.
6. Neori A., Chopin T., Troell M., Buschmann A. H., Kraemer G. P., Halling C., Shpigel M., Yarish C., 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture // *Aquaculture*. – 2004. – 231. – Pp. 361–391.
7. Waller U., Buhmann A. K., Ernst A. et al. Integrated multi-trophic aquaculture in a zero-exchange recirculation aquaculture system for marine fish and hydroponic halophyte production // *Aquaculture International*. – 2015. – Volume 23. – Issue 6. – Pp. 1473–1489.
8. Crab R., Avnimelech Y., Defoirdt T., Bossier P., Verstraete W. / Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production // *Aquaculture*. – 2007. – 270. – Pp. 1–14.

Рецензент: д.т.н., професор Гіроль М. М. (НУВГП)

---

**Konontsev S. V., Candidate of Engineering, Postdoctoral Fellow**  
(National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv)

## **WASTEWATER TREATMENT IN THE RAS BY USING AQUATIC ORGANISMS OF DIFFERENT TROPHIC GROUP**

**The conception of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) for circulation water treatment in freshwater RAS makes good use of food**

potential as well as significantly reduces of waste amount that produce in fish-breeding process. Organisms – objects of subculture, growing in the IMTA, transform main pollutants into own biomass. It could be used for fish feeding. Opportunities of cultivation higher water plants, mollusks and higher shellfish was grounded in the article.

**Keywords:** biological water treatment, RAS, integrated multi-trophic aquaculture.

---

**Кононцев С. В., к.т.н., докторант** (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев)

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОБИОНТОВ РАЗНЫХ ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП В ПРОЦЕССАХ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОДЫ УЗВ**

Концепция интегрированной мультитрофической аквакультуры (ИМТА) для очистки циркуляционной воды пресноводных УЗВ позволяет эффективно использовать потенциал кормов и значительно уменьшать количество образовавшихся при выращивании рыб отходов. В процессе культивирования в интегрированной аквасистеме объекты субкультуры трансформируют основные загрязнения в собственную биомассу, которая может быть использована для кормления рыб. В работе обосновано целесообразность культивирования в очистных сооружениях высших водных растений, моллюсков и высших ракообразных.

**Ключевые слова:** биологическая очистка воды, УЗВ, интегрированная мультитрофическая аквакультура.

---