

УДК 602.44

С.В. КОНОНЦЕВ, Ю.Р. ГРОХОВСЬКА

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

Л.А. САБЛІЙ, М.С. КОРЕНЧУК

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ЧЕРЕВОНОГИХ МОЛЮСКІВ ДЛЯ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ НЕРОЗЧИНЕНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ОБОРОТНОЇ ВОДИ УЗВ

Дана робота присвячена вирішенню проблеми підвищення ефективності мінералізації у спорудах біологічного очищення нерозчинених забруднень оборотної води УзВ та зниження їх кількості. Відповідно до концепції ІМТА найбільш раціональним способом утилізації продуктів метаболізму риб є залучення до процесів очищення води гідробіонтів, здатних трансформувати основні забруднення у власну біомасу. Метою досліджень є визначення біотрансформаційного потенціалу червоногих моллюсків при залученні їх до процесів очищення оборотної води УзВ. Досліджено динаміку приросту біомаси найбільш перспективних для культивування в очисних спорудах видів – фізи пухирчастої (*Physa fontinalis* L.) та катушки (*Planorbis corneus* L.), яка безпосередньо пов'язана з інтенсивністю мінералізації органічних сполук. У процесі метаболізму моллюски підвищують рівень мінералізації нерозчинених домішок, що затримуються у біореакторі, та знижують кількість утворених відходів, та нарощують власну біомасу, що є доступним джерелом харчування для риб. У роботі досліджено позитивний вплив укрупнення нерозчинених домішок моллюсками, внаслідок чого покращуються їх седиментаційні властивості. Інтенсивність мінералізації органічних сполук моллюсками визначається темпами приросту їх біомаси та суттєво залежить від температури води. Враховуючи можливість адаптації досліджуваних видів до показників оборотної води та їх внесок у процеси очищення, раціональним технічним рішенням можна вважати використання моллюсків для зниження приросту біоплівки в аеробних біореакторах з інертним волокнистим носієм та мінералізації видалених нерозчинених домішок.

Ключові слова: очищення води, мінералізація нерозчинених забруднень, УзВ, червоногі моллюски.

S.V. KONONTCEV, Y.R. GROKHOVSKA

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

L.A. SABLIIY, M.S. KORENCHUK

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

USE OF GASTROPOD MOLLUSKS FOR MINERALIZATION OF RAS CIRCULATING WATER UNDISSOLVED CONTAMINANTS

This article is devoted to solving the problem of improving the mineralization efficiency in biological treatment plants for untreated contaminants in reversible water of RAS and reducing their amount. According to the concept of IMTA, the most rational way of fish metabolism products disposal is to involve hydrobionts in water treatment processes that are able to transform the pollutants into their own biomass. The research purpose is to determine the biotransformation potential of gastropod molluscs in their involvement in the processes of RAS circulating water treatment. The biomass growth dynamics of the most promising species for cultivation in wastewater treatment plants - common bladder snail (*Physa fontinalis* L.) and great ramshorn (*Planorbis corneus* L.) - is explored, which is directly related to the mineralization intensity of organic compounds. In the process of metabolism, molluscs increase the mineralization level of solids contaminants that are retained in the bioreactor, and reduce the amount of generated waste. In the paper, the positive effect of undissolved contaminants enlargement by molluscs is investigated, as a result of which their sedimentation properties are improved. The intensity of organic compounds mineralization in molluscs is determined by the growth rate of their biomass and significantly depends on the water temperature. Taking into account the possibility of the studied species adaptation to the indicators of reversible water and their contribution to the purification processes, rational technical solutions can be considered. The molluscs usage is proposed to reduce the growth of biofilms in aerobic bioreactors with an inert fibrous carrier and mineralization of removed insoluble contaminants.

Key words: water treatment, mineralization of insoluble contaminants, RAS, gastropod molluscs.

Вступ. Інтенсивні технології вирощування рибицької продукції в установках із замкнутим водопостачанням (УЗВ) дозволяють реалізувати максимальні темпи росту риб за умови якісної годівлі та видалення основних забруднень з оборотної води. Потреба у глибокому очищенні оборотної води пов'язана із токсичною дією на риб власних метаболітів. Нерозчинені забруднення, представлені переважно фекаліями риб та пилоподібними залишками кормів, містять значну кількість органічних речовин. Дрібнодисперсні забруднення (пилоподібні залишки кормів, фрагменти фекалій та агломерацій мікробіоти) характеризуються поганими седиментаційними властивостями. Окрім того, нерозчинені органічні сполуки, що містяться в оборотній воді, здатні до швидкого розкладу та переходу у розчинену форму. Надходження значної кількості органічних сполук у біофільтр-нітрифікатор, у якому відбувається перший етап біологічного очищення за класичною технологією відновлення якості води УзВ, призводить до витіснення нітрифікуючої мікрофлори та зупинки процесів нітрифікації [1–3]. Тому задачею споруд механічного очищення у традиційній технології очищення оборотної води УзВ є максимально повне вилучення з води нерозчинених забруднень. Водночас, досягнути ефективного вилучення дрібнодисперсних сполук практично неможливо, що пояснюється порівняно низькими концентраціями завислих речовин та їх властивостями [4]. Оскільки традиційна технологія нітри-денітрифікації характеризується залученням до процесів відновлення якості води лише мікробіоти (гетеротрофні та нітробактерії), її реалізація в умовах УзВ супроводжується утворенням надмірної кількості твердих відходів з низьким рівнем мінералізації [5–9].

Одним із найбільш перспективних сучасних напрямків аквакультури є концепція інтегрованої

мультитрофічної аквакультури (ІМТА), яка передбачає культивування в одному водному контурі гідробіонтів, здатних споживати продукти метаболізму та залишки кормів основних вирощуваних у аквакультури об'єктів – риб [10, 11]. Відсутність небезпечних домішок в оборотній воді УЗВ дозволяє розглядати її як розчин поживного субстрату для організмів нижчих рівнів організації, причому найбільш раціональним в умовах таких господарств є культивування в очисних системах організмів, що мають кормову цінність для риб [12, 13].

Постановка завдання. В межах даної роботи вирішували завдання щодо підвищення ефективності мінералізації у спорудах біологічного очищення нерозчинених забруднень оборотної води УЗВ та зниження їх кількості. Відповідно до концепції ІМТА найбільш раціональним способом утилізації продуктів метаболізму риб є залучення до процесів очищення води гідробіонтів, здатних трансформувати основні забруднення у власну біомасу. Серед них для очисних агентів потенційну цінність, як поживних елементів, можуть мати білкові компоненти та фосфоровмісні сполуки [5].

Одними з перспективних очисних агентів, яких можна вирощувати в очисних спорудах в якості субкультури, є червоногі моллюски. Доцільність включення моллюсків у процеси відновлення якості води обґрунтовується двома важливими аспектами: зниженням витрат на очищення води та утилізацію утворених відходів, отже зниженням собівартості продукції; а також можливістю використати органічні сполуки, що розглядаються як забруднення води, для трансформації у доступну рибама кормову біомасу. Зрештою, використання кормів, вирощених у процесі відновлення якості води, також приведе до покращення економічних показників діяльності господарства.

Результати дослідження. Досліджені нами представники червоногих моллюсків фіза пухирчаста (*Physa fontinalis*) та катушка (*Planorbis corneus*) характеризуються доброю пристосованістю до умов забрудненої води УЗВ та мають високу кормову цінність. Тому найбільш раціональною є трансформація утворених твердих речовин безпосередньо у біомасу моллюсків, оскільки реалізація складного трофічного ланцюга пов'язана із потенційними втратами біомаси з переходом на кожний наступний трофічний рівень. Згідно висновків [12], при поїданні моллюсками твердих продуктів обміну риб, вони можуть засвоїти близько половини сполук Нітрогену та Фосфору, що містяться у таких відходах. Водночас, певна частка дрібнодисперсних забруднень, а також розчинені органічні сполуки затримуються у біореакторі лише під час сорбції, – у такому разі первинний етап біологічної трансформації органічної речовини буде здійснено гетеротрофною мікрофлорою біореактора. Якщо її приріст будуть ефективно контролювати моллюсками, можна очікувати, що останні також забезпечать додаткову мінералізацію та укрупнення домішок.

Приріст біомаси моллюсків в умовах біореактора суттєво залежатиме від наявності поживного субстрату та фізико-хімічних показників води, змінювати які в умовах очисних споруд УЗВ навряд чи було б доцільно. В ході лабораторних досліджень було виявлено, що температурний оптимум для фізи та катушки коливається в межах 20–28°C. Тому при культивуванні тропічних моллюсків у тепловодних УЗВ термічний режим відповідатиме оптимальним для даних видів значенням. Водночас, моллюски також здатні активно харчуватись та розмножуватись при температурі 14–18°C, яка характерна для оборотної води УЗВ з вирощування осетрових. При культивуванні червоногих моллюсків у інтегрованих з УЗВ комплексах не виникатиме проблем і з газовим складом, адже фізи та катушки мають легеневе дихання. В цілому, фізико-хімічні показники забрудненої води УЗВ будуть задовільними для інтенсивного росту та розмноження даних видів.

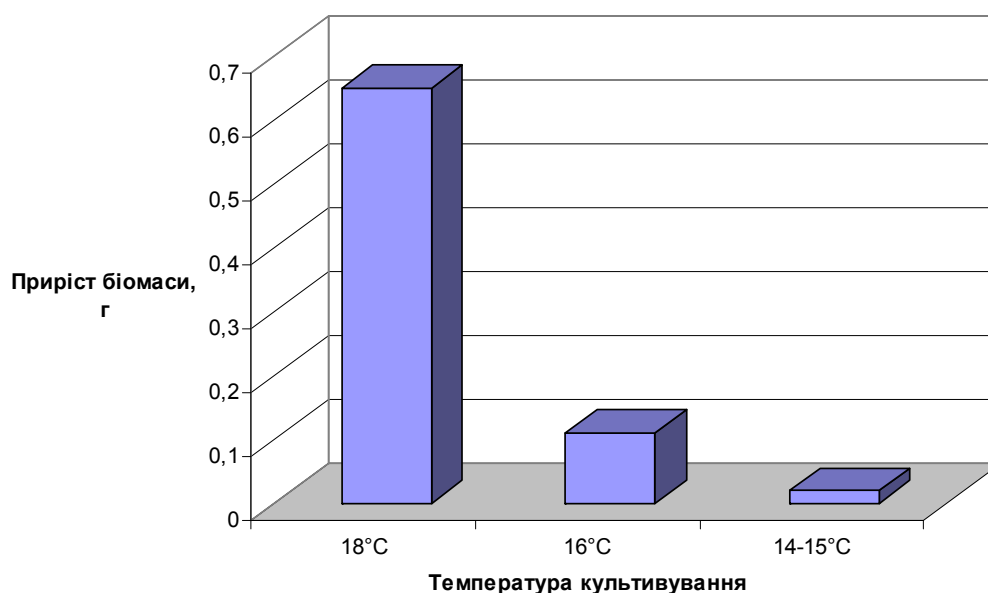


Рис. 1. Залежність приросту біомаси *Physa fontinalis* від температури води.

Для дослідження темпів росту фізи у культиваторі було відібрано 20 екземплярів вагою близько

0,02 г з приблизними розмірами черепашок: довжина – 4-5 мм, ширина – 3 мм. Температура в акваріумі становила 18°C. Дослід з культивування тривав три тижні (рис. 1). Протягом цього часу сумарна біомаса моллюсків збільшилася майже у три рази (від 0,35 г на початку до 1,0 г через три тижні). Середня маса досліджуваної групи моллюсків становила 0,05 г. З них 10% відсотків моллюсків збільшили вагу у чотири рази (до 0,08 г), 15% моллюсків виростили менше ніж у 1,5 рази (0,02-0,03 г). В ході дослідження динаміки росту популяції фізи було виявлено, що час подвоєння біомаси популяції становив близько двох тижнів при культивуванні в акваріумі з температурою води 18°C.

У процесі дослідження популяції фізи, яку культивували у лабораторії при температурі 24–26°C (у акваріумах з підігрівачами), встановлено такі характеристики найбільших екземплярів моллюска: довжина черепашки – 11 мм, ширина – 7 мм, вага – 0,12 г, вага тіла без черепашки склала 0,08 г. Для визначення часу подвоєння біомаси при годівлі моллюсків в умовах культиватора у три різні акваріуми було поміщено групи моллюсків загальною масою 10,01; 5,1 та 2,5 г, відповідно (рис. 2). Годівлю досліджуваних груп здійснювали залишками кормів для риб та детритом, відібраним з акваріумів для утримання представників ряду Сомоподібні. Субстрат вносили кожної доби у кількості, яка перевищує біомасу моллюсків на 5–10%. Наприкінці експерименту було визначено час подвоєння біомаси у трьох досліджуваних груп моллюсків, який становив 10–11,3 доби.

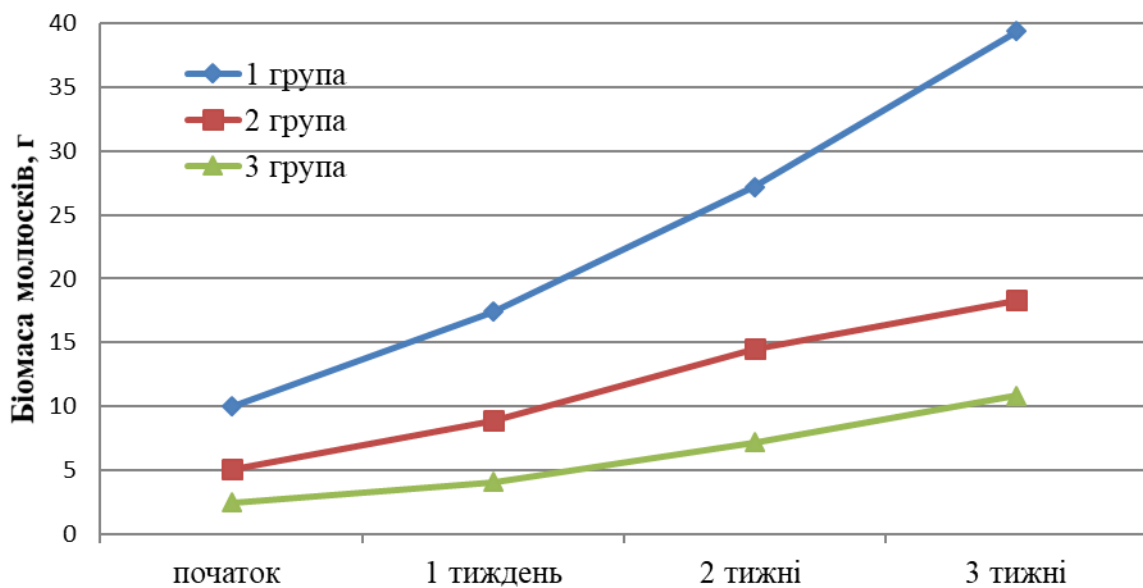


Рис. 2. Динаміка росту *Physa fontinalis* при температурі води 24–26°C

Основною функцією моллюсків у системі мільтитрофічної інтегрованої аквакультури буде мінералізація дрібнодисперсних домішок з одночасним їх укрупненням. Види моллюсків, які було обрано для культивування в очисних спорудах, заковтують їжу зішкрябаючи її з твердої поверхні, по якій безпосередньо рухаються. Тому, в біореакторі необхідно забезпечити умови для сорбції забруднень на інертному носіїві, по якому можуть добре пересуватись фізи та катушки. Сорбовані дрібнодисперсні та розчинені забруднення на початковому етапі можуть бути трансформовані мікрофлорою, яка буде розвиватись в умовах біореактора. У подальшому, такі агломерації споживатимуть моллюски, які будуть звільняти місце на носіїві для сорбції нових порцій забруднень. Для забезпечення стабільної роботи біореактора необхідно виконати ряд умов. По-перше, кількість (біомаса) моллюсків має бути пропорційною кількості органічних сполук, що затримуються на інертному носіїві. У такому разі тверді забруднення будуть повністю спожиті моллюсками. Частина органічної речовини буде засвоєна та перейде у біомасу моллюсків, неперетравлені і мінералізовані рештки у вигляді фекалій мають бути відведено з біореактора. Тому гідравлічний режим біореактора повинен забезпечити сорбцію основної маси нерозчинених сполук, що містяться у воді, а конструкція споруди має передбачати можливість безперервного відведення твердих продуктів метаболізму моллюсків.

Дослідження біотрансформаційного потенціалу моллюсків (рис. 3) було здійснено на змішаній групі, що включала приблизно рівні маси фіз та катушок (по 5 г). У раціон моллюсків входили детрит та неперетравлені залишки кормів для риб. Кількість детриту, який щодоби вносили в акваріум, змінювалась пропорційно очікуваному зростанню біомаси моллюсків – з 5 до 10 г.

В ході досліджень виявлено, що в умовах культиватора при температурі води 24–26°C моллюски здатні протягом доби поїдати кількість детриту, що становить 25–40% від їх власної маси. Мінералізовані частки, виділені моллюсками в процесі їх утримання в акваріумах, становили 40–50% від об'єму внесеного у систему детриту (рис. 3). Враховуючи те, що з детриту було вилучено значну частину органічних сполук, зольність утворених відходів зростає з 10–12% до 50–65%.

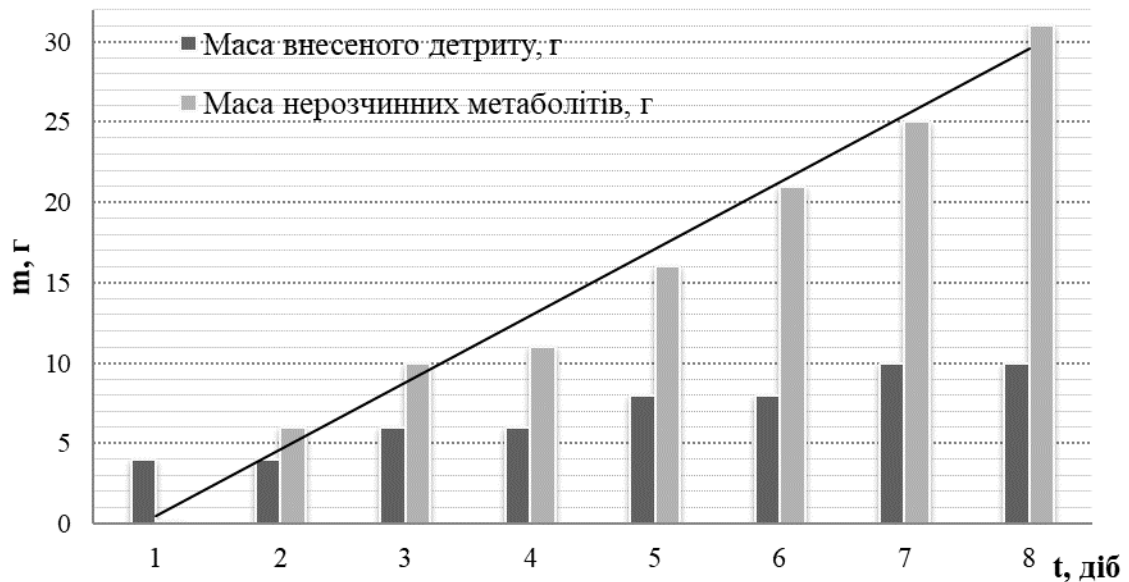


Рис. 3. Динаміка зміни маси (m) внесеного детриту і нерозчинних метаболітів протягом досліджуваного періоду (t)

Окрім приросту біомаси кормових організмів для риб, ще більш вагомим внеском моллюсків є укрупнення та мінералізація органічних забруднень, внаслідок чого зростає ефективність їх видалення у відстійниках та знизяться витрати на стабілізацію утворених осадів. Виявлено, що утворені в біореакторі тверді відходи завдяки особливостям метаболізму моллюсків володіють значно кращими седиментаційними властивостями (рис. 4), що дозволяє ефективно виводити їх з споруди без влаштування окремого відстійника. Відповідно до результатів попередніх досліджень, при оптимальному температурному режимі фізи та котушки здатні за добу перетравлювати кількість детриту, що становить до 40% від маси їх тіла. Відповідно до потенційного навантаження на блок очищення оборотної води за нерозчинними сполуками на кожний кілограм згодованого рибакам корму у біореакторі потрібно культивувати 550–800 г живої ваги моллюсків (фіз або котушок).

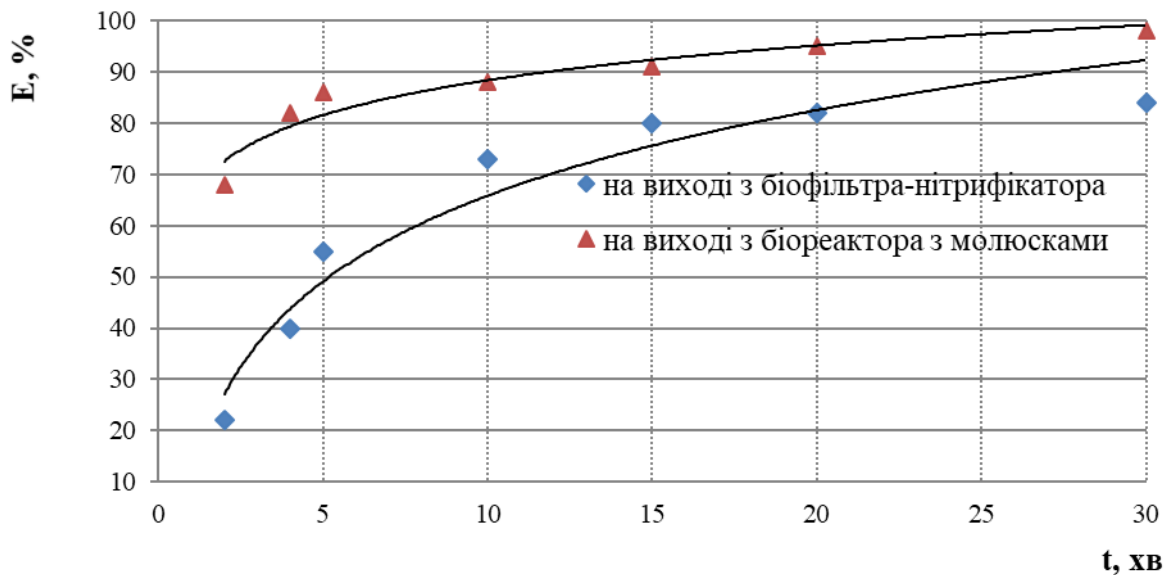


Рис. 4. Ефективність відстоювання (E) утворених у процесі очищення оборотної води нерозчинних метаболітів залежно від тривалості (t)

Висновки. Доцільність залучення червононогих моллюсків до процесів очищення оборотної води УЗВ обумовлена їх здатністю в процесі метаболізму підвищувати рівень мінералізації нерозчинених забруднень, покращувати седиментаційні властивості та трансформувати детрит у доступну рибакам біомасу. Інтенсивність мінералізації органічних сполук моллюсками визначається темпами приросту їх біомаси та суттєво залежить від температури води. Враховуючи можливість адаптації досліджуваних видів до показників оборотної води та їх внесок у процеси очищення, раціональним технічним рішенням можна вважати використання моллюсків для зниження приросту біоплівки в аеробних біореакторах з інертним волокнистим носієм та мінералізації видалених нерозчинених домішок.

Література

1. 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.
2. Tal Y., Watt J.E.M., Schreier S.B., Sowers K.R. and Schreier H.J. Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system // *Aquaculture*. – 2003. – 215. – pp. 187–202.
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. Cripps S.J., Kelly L.A. Reductions in wastes from aquaculture. *Aquaculture and Water Resource Management* / Baird D.J., Beveridge M.C.M., Kelly L.A., Muir J.F., Eds. – Blackwell: Oxford, UK. – 1996. – pp. 166–201.
5. Martins C.I.M., Eding E.H., Verdegem M.C.J., Heinsbroek L.T.N., Schneider O., Blanchetond J.P., Roque E. d'Orbcastel and Verreth J.A.J. / New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // *Aquacultural Engineering*. – 2010. – Volume 43. – Issue 3. – pp. 83–93.
6. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // *Aquacultural Engineering*. – 2006. – 34. – pp. 364–376.
7. Rijn J., Rivera G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification // *Aquacult. Eng.* – 1990. – № 9. – pp. 217–234.
8. Tsukuda S. Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters / Scott Tsukuda, Laura Christianson, Alex Kolb, Keiko Saito, Steven Summerfelt // *Aquacultural Engineering*. – 2015. – Volume 64. – pp. 49–59.
9. Lee P.G. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem / P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky, P.E. Turk, H. Ying, J.L. Whitson // *Aquacult. Eng.* – 2000. – 23. – pp. 37–59.
10. Ariel E. Turcios, Jutta Papenbrock. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // *Sustainability*. – 2014. – 6. – pp. 836–856.
11. Neori A., Ragg N.L.C., Shpigel M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system // *Aquacult. Eng.* – 1998. – 15. – pp. 215–239.
12. 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.
13. Саблій Л.А. Реалізація концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури у прісноводних рибницьких господарствах з замкнутим водозабезпеченням / Л.А. Саблій, М.С. Коренчук, С.В. Кононцев, Ю.Р. Гроховська // *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. – 2017. – № 5. – С. 89–93.

References

1. 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.
2. Tal Y., Watt J.E.M., Schreier S.B., Sowers K.R. and Schreier H.J. Characterization of the microbial community and nitrogen transformation processes associated with moving bed bioreactors in a closed recirculated mariculture system // *Aquaculture*. – 2003. – 215. – pp. 187–202.
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. Cripps S.J., Kelly L.A. Reductions in wastes from aquaculture. *Aquaculture and Water Resource Management* / Baird D.J., Beveridge M.C.M., Kelly L.A., Muir J.F., Eds. – Blackwell: Oxford, UK. – 1996. – pp. 166–201.
5. Martins C.I.M., Eding E.H., Verdegem M.C.J., Heinsbroek L.T.N., Schneider O., Blanchetond J.P., Roque E. d'Orbcastel and Verreth J.A.J. / New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C.I.M. Martins et al. // *Aquacultural Engineering*. – 2010. – Volume 43. – Issue 3. – pp. 83–93.
6. Denitrification in recirculating systems: Theory and applications / Jaap van Rijn, Yossi Tal, Harold J. Schreier // *Aquacultural Engineering*. – 2006. – 34. – pp. 364–376.
7. Rijn J., Rivera G. Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit-nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification // *Aquacult. Eng.* – 1990. – № 9. – pp. 217–234.
8. Tsukuda S. Heterotrophic denitrification of aquaculture effluent using fluidized sand biofilters / Scott Tsukuda, Laura Christianson, Alex Kolb, Keiko Saito, Steven Summerfelt // *Aquacultural Engineering*. – 2015. – Volume 64. – pp. 49–59.
9. Lee P.G. Denitrification in aquaculture systems: an example of fuzzy logic control problem / P.G. Lee, R.N. Lea, E. Dohmann, W. Prebilsky, P.E. Turk, H. Ying, J.L. Whitson // *Aquacult. Eng.* – 2000. – 23. – pp. 37–59.
10. Ariel E. Turcios, Jutta Papenbrock. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future? // *Sustainability*. – 2014. – 6. – pp. 836–856.
11. Neori A., Ragg N.L.C., Shpigel M. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clams in modular intensive land-based systems: Performance and nitrogen partitioning within an abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system // *Aquacult. Eng.* – 1998. – 15. – pp. 215–239.
12. 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.
13. Sablii L.A. Realizatsiia kontseptsii systemy intehrovanoi multytrofichnoi akvakultury u prisnovodnykh rybnitskykh gospodarstvakh z zamknytom vodozabezpechenniam / L.A. Sablii, M.S. Korenchuk, S.V. Konontsev, Yu.R. Hrokhovska // *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. – 2017. – Issue 5. – P. 89–93.

Рецензія/Peer review : 26.11.2017 р.

Надрукована/Printed :04.02.2018 р.

Рецензент: стаття рецензована редакційною колегією