

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІПОХЛОРИТУ НАТРІЮ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВИСОКОПОРИСТИХ НАПОВНЮВАЧІВ ПІСЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У БІОФІЛЬТРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Д. Ю. Шарило, sharylo.dmitrii@gmail.com, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

В. О. Коваленко, kovalenko_va_58@i.ua, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Б. Ю. Коваленко, bogdankovalenko@ukr.net, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

Мета. Розроблення методу регенерації високопористих наповнювачів для біофільтру після зашлаковування їхніх пор залишками біоплівки в процесі вирощування об'єктів аквакультури в установках замкнутого водопостачання.

Методика. Регенерацію наповнювачів для біофільтру, після їх експлуатації протягом 6 місяців, проводили за допомогою розчину гіпохлориту натрію з різною концентрацією активного хлору: 2,5%; 1,0% і 0,5%. Контроль ефективності очищення здійснювали за різницею маси наповнювачів до і після їх обробки у розчині гіпохлориту натрію.

Результати. За результатами дослідження доведено ефективність та економічну доцільність використання гіпохлориту натрію для очищення високопористих наповнювачів для біофільтру (на прикладі пористого керамічного наповнювача та спіненого скла «JBL Micromates»). Зменшення маси досліджуваних зразків становило, в середньому, 12,95% для пористої кераміки та 15,0% для вспіненого скла. Встановлено, що різна концентрація активного хлору у водному розчині не має яскраво вираженого впливу на ефективність процесу очищення наповнювачів, у зв'язку з чим рекомендовано для використання 0,5%-й розчин гіпохлориту натрію.

Наукова новизна. Використання у рибництві високопористих наповнювачів для біофільтру тривалий час було нерентабельним через швидку втрату їх основної переваги — високого показника питомої площі на одиницю об'єму, в результаті зашлаковування мікропор залишками біоплівки. Потребувалася щорічна повна заміна наповнювачів, що, враховуючи значно вищу їхню вартість, у порівнянні з полімерними наповнювачами, робило нерентабельним їх використання. Запропонований метод відновлення наповнювачів з пористої кераміки та спіненого скла для біофільтру значно подовжує строки їх експлуатації, із повною заміною лише після значного механічного зносу матеріалу.

Практична значимість. Використання методу відновлення високопористих наповнювачів для біофільтру сприятиме широкому впровадженню цих високоефективних фільтруючих матеріалів на підприємствах інтенсивної аквакультури, що, у свою чергу, приведе до збільшення обсягів виробництва і зростання якості товарної харчової продукції.

Ключові слова: УЗВ, біофільтр, наповнювач, регенерація, гіпохлорит натрію.



SODIUM HYPOCHLORITE PECULARITIES IN APPLICATION FOR RESTORATION OF HIGHLY POROUS FILLERS AFTER THEIR USE IN BIOFILTRATION SYSTEMS OF RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS

D. Sharylo, sharylo.dmitrii@gmail.com, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

V. Kovalenko, kovalenko_va_58@i.ua, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

B. Kovalenko, bogdankovalenko@ukr.net, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

Purpose. Development of a method for the regeneration of highly porous fillers for biofilters after slugging of their pores with biofilm residues in the process of growing aquaculture objects in recirculating aquaculture systems (RAS).

Methodology. Regeneration of fillers was performed with solutions of sodium hypochlorite of different concentrations (2.5%, 1%, 0.5% of active chlorine) after their exploitation for 6 months. The cleaning efficiency was monitored by the difference in fillers weights after cleaning.

Findings. According to the study, the use of sodium hypochlorite for cleaning highly porous fillers for biofilters (using an example of porous ceramic filler and foamed glass «JBL Micromec») is efficient and cost-effective. A reduction in the weight of the test samples averaged 12.95% for porous ceramics and 15.01% for foamed glass. Based on the obtained data, aqueous solutions with different concentrations of sodium hypochlorite do not have a pronounced difference in efficiency, respectively; the optimal for use is a 0.5% solution.

Originality. The use of highly porous fillers for biofilters has long been unprofitable in fish farming due to the rapid loss of their main advantages - a high specific area per unit volume as a result of micropore slugging with biofilm residues. As a result, complete regeneration of these filter materials was required annually, which, given the significantly higher cost compared to polymeric fillers, made their use unprofitable. The described technique allows the use of porous ceramics and foamed glass, after their restoration, for a long time, with replacement only after mechanical wear.

Practical value. The described method allows using highly porous fillers for biofilters in the process of growing aquaculture objects without their main disadvantage - a rapid decrease in efficiency as a result of pore slugging with biofilm residues.

Keywords: RAS, biofilter, filler, restoration, sodium hypochlorite.

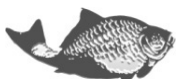
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПОХЛОРИТА НАТРИЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ВИСОКОПОРИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОФИЛЬТРАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УСТАНОВОК ЗАМКНУТОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Д. Ю. Шарило, sharylo.dmitrii@gmail.com, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

В. А. Коваленко, kovalenko_va_58@i.ua, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

Б. Ю. Коваленко, bogdankovalenko@ukr.net, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

Цель. Разработка метода регенерации высокопористых наполнителей для биофильтров после зашлаковывания их пор остатками биопленки в процессе выращивания объектов аквакультуры в установках замкнутого водоснабжения.



Методика. Регенерацію наполнителів для биофільтра, після їх експлуатації на протязі 6 місяців, проводили з допомогою розчину гіпохлориту натрію з різною концентрацією активного хлору — 2,5%; 1,0% і 0,5%. Контроль ефективності очищення здійснювали по різниці маси наполнителів до і після їх обробки в розчині гіпохлориту натрію.

Результати. По результатам дослідження доведена ефективність і економічна цілесобразність використання гіпохлориту натрію для очищення високопористих наполнителів для биофільтра (на прикладі пористого керамічного наполнителя і вспененого скла «JBL Micromes»). Зменшення маси досліджуваних зразків становило в середньому 12,95% для пористої кераміки і 15,01% для вспененого скла. Встановлено, що різна концентрація активного хлору в водному розчині не має яскраво вираженого впливу на ефективність процесу очищення наполнителів, в зв'язі з чим рекомендується для використання 0,5%-й розчин гіпохлориту натрію.

Наукова новизна. Використання в аквакультурі високопористих наполнителів для биофільтра довгого часу було нерентабельним из-за швидкої втрати їх основної переваги — високого показателя удельної площі на одиницю об'єму, в результаті зашлаковування мікропор залишками біопленки. Вимагалась щорічна повна заміна наполнителів, що, враховуючи значно вищу їх ціну, порівняно з полімерними наполнителями, робило нерентабельним їх використання. Представлений метод відновлення наполнителів з пористої кераміки і вспененого скла для биофільтра значно подовжує термін їх експлуатації, з повною заміною тільки після значного механічного зносу матеріалу.

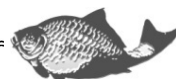
Практична значимість. Використання методу відновлення високопористих наполнителів для биофільтра буде сприяти широкому впровадженню цих високоєфективних фільтруючих матеріалів на підприємствах інтенсивної аквакультури, що, в свою чергу, приведе до збільшення об'ємів виробництва і підвищення якості товарної харчової продукції.

Ключові слова: УЗВ, биофільтр, наполнитель, регенерація, гіпохлорит натрію.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Останніми роками спостерігається тенденція до розвитку високоінтенсивних систем аквакультури — установок замкнутого водопостачання (УЗВ), в яких технологічна вода циркулює у закритому контурі з постійним її очищенням у блоці регенерації. Така технологія дозволяє мінімізувати витрати води [1, 2]. Рециркуляція в аквакультурі є важливою альтернативою традиційним методам виробництва. Вона дозволяє зменшити залежність від природних водних ресурсів і дає можливість керувати якісними характеристиками води [3].

Вирощування риби в рециркуляційних установках дає змогу підвищити продуктивність рибницьких господарств за рахунок інтенсифікації процесу культивування [4]. Такий спосіб вирощування вимагає порівняно високих витрат на матеріально-технічне обладнання аквасистеми та її експлуатацію. Виправданим в економічному сенсі є використання таких видів риб, ціна товарної продукції яких дає змогу компенсувати витрати на виробництво. Не менш важливими чинниками є швидкість росту і рівень виживання об'єктів культивування на всіх етапах вирощування та вихід товарної продукції з одиниці площі чи об'єму води. Використання технологій УЗВ дозволяє рибницьким підприємствам зменшити цикл виробництва товарної продукції від двох–трьох років до одного, що значно скорочує терміни окупності коштів, вкладених у



побудову господарства [4].

Сучасні технології вирощування риби в рециркуляційних установках все ще потребують значних водовитрат для підміни частини води і компенсації її випаровування — від 3–5 до 100% об'єму системи на добу. Значний об'єм води, крім риблицьких ємностей, знаходиться у блоці регенерації води, і у першу чергу — в біофільтрі, що, у разі використання найпоширенішого у сучасній практиці аквакультури полімерного плаваючого біозавантаження, становить від 10 до 130% від об'єму води в риблицьких басейнах [6, 7].

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

У класичних технологіях вирощування риби та інших гідробіонтів в УЗВ можливе використання біофільтрів різних типів та конструкцій. Головним елементом біофільтра є субстрат чи завантаження, ефективність роботи якого оцінюється за питомою площею робочої поверхні ($S_{пт}$, m^2/m^3) в одиниці об'єму активної зони біофільтра. Чим більша питома площа субстрату, тим більше бактерій може поселитись у кубічному метрі активної зони біофільтру [8].

На сьогодні практично всі біофільтраційні установки потребують досить великої кількості наповнювачів, поверхня яких слугує субстратом для біоплівки, ємностей відповідного об'єму та площі для їх розміщення і, як наслідок, значних витрат на побудову та експлуатацію таких установок. Використання завантаження для біофільтрів із високими показниками питомої площі поверхні може вирішити цю проблему і, в результаті, знизити собівартість виробництва рибної продукції [7, 9].

Одним із напрямків розробки ресурсозберігаючих технологій є удосконалення системи біофільтрації води в УЗВ. Враховуючи велику корисну площу високопористих наповнювачів, в найближчому майбутньому вони можуть замінити класичні субстрати для заселення нітрифікуючими бактеріями. Однак висока вартість і швидкі темпи зашлаковування мікропор цих наповнювачів, навіть враховуючи їх значну зносостійкість, є суттєвою перепоною для їх використання у риблицтві [10].

Перспективні у риблицтві високопористі наповнювачі із запеченої кераміки та вспіненого скла мають багато переваг: їх питома площа поверхні становить від 250 до 2400 m^2/l . Ще однією перевагою такого біозавантаження є його довговічність. При виборі фільтруючого матеріалу для біологічної очистки слід враховувати, що наповнювачі з дрібною фракцією та високим показником корисної площі досить швидко зашлаковуються, а це призводить до явища т. з. «задухи» біофільтру [11].

Недоліком високопористих наповнювачів є необхідність у повній їх заміні після 1 року експлуатації. Традиційний метод поверхневого очищення таких наповнювачів в процесі експлуатації біофільтру оснований на утворенні протитечі і проводиться не частіше 1 разу на місяць. Для швидкого входу



біофільтру в робочий режим рекомендується залишати до 10% об'єму не пошкодженого «старого» завантаження [12].

Також існує спосіб очищення високопористих наповнювачів випалюванням, який швидко і порівняно просто звільняє пори від шламу та залишків застарілої біоплівки. Недоліками даного способу є потреба у специфічному обладнанні (муфельна піч) та висока енерговитратність процесу [13].

Гіпохлорит натрію (NaClO) є сильним окиснювачем і вступає у численні реакції з різноманітними відновлювачами, незалежно від кислотно-лужного характеру середовища. Використання гіпохлориту натрію на сьогодні є одним із кращих відомих засобів очищення і дезінфекції. Наявність гіпохлоритної кислоти у водному розчині цієї речовини пояснює її сильні дезінфікуючі і відбілюючі властивості. Гіпохлорит-аніони мають сильну антибактеріальну активність і вбивають мікроорганізми дуже швидко та за досить низьких концентрацій. Розкладання гіпохлориту натрію супроводжується утворенням низки активних частинок (радикалів) і, зокрема, синглетного кисню, що характеризуються високою біоцидною дією. Крім того, ця речовина відносно безпечна при зберіганні та використанні [14, 15].

Мета роботи — розробка способу очищення мікроотворів високопористих наповнювачів для біофільтру УЗВ від відмерлих частинок біоплівки та детриту, що дасть можливість багаторазового використання фільтрувальних матеріалів, а широке впровадження цих матеріалів в практику інтенсивної аквакультури з використанням УЗВ дозволить зменшити об'єм біофільтру та витрати на воду і енергоносії.

Завдання дослідження полягало у перевірці ефективності використання розчину гіпохлориту натрію для глибокого очищення високопористих наповнювачів від мертвої біоплівки після їх використання в блоці біологічної фільтрації УЗВ з вирощування кларієвого сома (*Clarias gariepinus*).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Наповнювачі для біофільтру — запечена високопориста кераміка і сепаракс (впінене скло) — інертні і нерозчинні у хлорвмістних сполуках матеріали. Очищення наповнювачів, після 6 місяців їх інтенсивного використання у біофільтрі УЗВ при вирощуванні кларієвого сома, проводили витримуванням у попередньо розбавленому в різних варіантах стандартному розчині гіпохлориту натрію (вміст активного хлору — 19%). Кожен варіант експерименту було проведено із потрібною повторністю:

1. Для високопористої кераміки з показником корисної площі $250 \text{ м}^2/\text{дм}^3$:

1.1. Варіант № 1 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 7,5 раза (концентрація активного хлору в розчині для очищення — 2,5%).

1.2. Варіант № 2 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 19 разів (концентрація активного хлору — 1%).



1.3. Варіант № 3 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 37 разів (концентрація активного хлору — 0,5%).

2. Для сепараксу «JBL Micromes» з корисною площею 1600 м²/дм³ (аеробна зона, доступна для нітрифікаторів — 10 %, анаеробна зона денітрифікації — 90%):

2.1. Варіант № 4 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 7,5 раза (концентрація активного хлору — 2,5%).

2.2. Варіант № 5 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 19 разів (концентрація активного хлору — 1%).

2.3. Варіант № 6 — розбавлення стандартного розчину гіпохлориту натрію дистильованою водою у 37 разів (концентрація активного хлору — 0,5%).

Технологічна схема процесу регенерації високопористих наповнювачів включала наступні етапи:

1) вилучення використаного наповнювача з біофільтру після 6 місяців експлуатації;

2) промивання гранул наповнювача водою від залишків біоплівки і детриту та їх висушування;

3) очищення пор наповнювача витримуванням протягом 30 хв у розчині гіпохлориту натрію з обраною концентрацією за температури води 24°C, із подальшим промиванням і висушуванням. Об'єм розчину для очищення дорівнював об'єму наповнювача.

Оцінку якості очищення наповнювачів біофільтру проводили за різницею у масі сухого наповнювача до і після витримування у розчині гіпохлориту натрію. За рівнем зменшення маси наповнювача була обрана оптимальна схема відновлення біофільтраційних можливостей високопористої кераміки та спіненого скла.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Встановлено, що у всіх 6 варіантах дослідження маса високопористих наповнювачів для біофільтру зменшилася внаслідок розчинення залишків біоплівки і детриту у порах у гранулах наповнювача. Це засвідчило ефективність використання водного розчину гіпохлориту натрію для відновлення пористих наповнювачів.

У дослідних варіантах з високопористою керамікою маса цього наповнювача зменшилася в середньому на 12,95%. Найменш ефективним виявився варіант № 1 (концентрація активного хлору в розчині — 2,5%) — зменшення маси на 11,75%. У варіантах №№ 2 і 3 ефективність очищення виявилася дещо кращою — 13,26 і 13,85%, відповідно. Разом із цим, у кожному з варіантів досліду були повторності як із порівняно низькими (Д. 1.2 — 9,57%, Д. 2.1 — 10,55% , Д. 3.1 — 11,20%), так і з високими (Д. 1.3 — 15,5%, Д. 2.3 — 17,31%, Д. 3.3 — 16,41%) показниками ефективності очищення (див. табл. 1).



Таблиця 1. Ефективність відновлення пористої кераміки водним розчином гіпохлориту натрію

Table 1. The efficiency of recovery of porous ceramics with an aqueous solution of sodium hypochlorite

Показник / Indicator	Варіант № 1 / Version № 1			Варіант № 2 / Version № 2			Варіант № 3 / Version № 3		
	Дослід 1.1 / Експе- римент 2.2	Дослід 1.2 / Експе- римент 1.2	Дослід 1.3 / Експе- римент 1.3	Дослід 2.1 / Експе- римент 2.1	Дослід 2.2 / Експе- римент 2.2	Дослід 2.3 / Експе- римент 2.3	Дослід 3.1 / Експе- римент 3.1	Дослід 3.2 / Експе- римент 3.2	Дослід 3.3 / Експе- римент 3.3
	Стартова маса, г / Starting weight, g	104,114	98,928	96,842	104,169	102,751	96,473	106,837	102,403
Кінцева маса, г / Finishing weight, g	93,509	89,46	81,826	93,178	90,503	79,77	94,867	88,124	92,188
Зменшення маси, г / Weight loss,%	10,605	9,468	15,016	10,991	12,248	16,703	11,97	14,279	18,102
Зменшення маси, % / Weight loss,%	10,186	9,571	15,506	10,551	11,920	17,314	11,204	13,944	16,413
Зменшення маси в середньому, % / Weight loss on average,%		11,75			13,26			13,85	

Досліди з відновлення спіненого скла показали схожі результати. Ефективність використання гіпохлориту натрію тут виявилася дещо вищою — зменшення маси наповнювача після обробки, в середньому, на 15,01% (див. табл. 2). Це можна пояснити більшою питомою площею поверхні даного наповнювача, і як наслідок, більшою кількістю органіки, накопиченої в порак.

Як видно з таблиці, найкращу ефективність очищення сепараксу продемонстрував варіант № 5 (концентрація активного хлору в розчині — 1%) — зменшення маси наповнювача в середньому, на 15,3%. Дещо менша ефективність спостерігалась у варіантах №№ 4 та 6 — 14,86 і 14,87%, відповідно.

Отримані результати експерименту свідчать про ефективність методу відновлення високопористих наповнювачів для біофільтру промиванням їх у розчині гіпохлориту натрію. Витримування фільтрувального матеріалу у розчині для очищення із різною концентрацією активного хлору — 2,5%; 1,0% та 0,5% — майже однаково ефективно звільняє пори наповнювача, а незначна різниця в отриманих даних за різними варіантами, ймовірно, пов'язана з нерівномірністю заростання пор наповнювачів біоплівкою.

Згідно з отриманими результатами, для регенерації високопористих наповнювачів пропонується використовувати водний розчин гіпохлориту натрію з концентрацією активного хлору 0,5 %, як більш ефективний в економічному відношенні.



Таблиця 2. Ефективність відновлення спіненого запеченого скла водним розчином гіпохлориту натрію

Table 2. The efficiency of recovery of foamed baked glass with an aqueous solution of sodium hypochlorite

Показник / Indicator	Варіант № 4 / Version № 4			Варіант № 5 / Version № 5			Варіант № 6 / Version № 6		
	Дослід 4.1 / Expe- riment 4.2	Дослід 4.2 / Expe- riment 4.2	Дослід 4.3 / Expe- riment 4.3	Дослід 5.1 / Expe- riment 5.1	Дослід 5.2 / Expe- riment 5.2	Дослід 5.3 / Expe- riment 5.3	Дослід 6.1 / Expe- riment 6.1	Дослід 6.2 / Expe- riment 6.2	Дослід 6.3 / Expe- riment 6.3
	Стартова маса, г / Starting weight, g	101,956	97,356	96,866	102,836	96,39	100,282	105,95 8	97,855
Кінцева маса, г / Finishing weight, g	90,293	81,365	80,671	90,034	80,363	83,404	91,937	83,468	82,975
Зменшення маси, г / Weight loss,%	11,663	15,991	16,195	12,802	16,027	16,878	14,021	14,387	16,637
Зменшення маси, % / Weight loss,%	11,439	16,425	16,719	12,449	16,627	16,831	13,233	14,702	16,702
Зменшення маси у середньому, % / Weight loss on average,%		14,86			15,30			14,87	

ВИСНОВКИ

1. Використання у рибництві високопористих наповнювачів для біофільтру УЗВ тривалий час було нерентабельним через швидке зашлаковування мікропор залишками біоплівки і відсутність ефективного методу регенерації цих матеріалів. Як наслідок, виникла необхідність у повній заміні високопористих наповнювачів щорічно, що, враховуючи значно вищу їхню вартість, у порівнянні з полімерними наповнювачами, робило нерентабельним використання цих наповнювачів.

2. Запропоновано метод відновлення високопористих наповнювачів із запеченої кераміки та спіненого скла для біофільтрів рибницьких установок замкнутого водопостачання шляхом витримування протягом 30 хв у розчині гіпохлориту натрію із вмістом активного хлору 0,5% за температури води 24°C, із подальшим промиванням водою та висушуванням. Для приготування розчину для очищення наповнювача на основі побутового розчину гіпохлориту натрію, із стандартною концентрацією активного хлору 19%, потрібне розбавлення препарату дистильованою водою в співвідношенні 1 : 37. Співвідношення об'ємів розчину для очищення і наповнювача — 1 : 1.

3. З урахуванням вартості розчину гіпохлориту натрію марки «А» (концентрація активного хлору 19%, середня ціна у роздрібній торгівлі на момент проведення досліджень — 27,87 грн/дм³), доцільно використовувати водний розчин препарату з концентрацією 0,5%. На відновлення 1 м³ наповнювача необхідно витратити 26,3 дм³ препарату на загальну суму 733,42 грн. Враховуючи



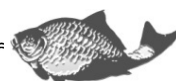
високу поверхневу площу високопористих наповнювачів, даний об'єм розчину гіпохлориту натрію дозволить відновити 250 000 м² корисної площі пористого керамічного наповнювача або 1600000 м² корисної площі сепараксу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Schuster C., Stelz H. Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems // *Aquac. Eng.* 1998. Vol. 17. P. 167—174.
2. Influence of filter medium type, temperature and ammonia production on nitrifying trickling filters performance / Godoy-Olmos S. et al. // *Journal of environmental chemical engineering.* 2016. Vol. (1). P. 328—340.
3. An evaluation of solid waste capture from recirculating aquaculture systems using a geotextile bag system with a flocculant-aid / Guerdat T. C. et al. // *Aquac. Eng.* 2013. Vol. 54. P. 1—8.
4. Гріневич Н. Є. Особливості використання біофільтрів з різними типами наповнювача в установках замкнутого водопостачання в аквакультурі // *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького.* 2016. Т. 18, вип. № 3 (70). С. 57—61.
5. Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Копенгаген, 2010. 70 с.
6. Timmons M. B., Ebeling J. M. *Recirculating Aquaculture.* USA: Cayuga Aqua Ventures, 2006. 975 p.
7. Проскуренко И. В. *Замкнутые рыбоводные установки.* Москва : ВНИРО, 2003. 152 с.
8. Спотт С. Содержание рыбы в замкнутых системах : пер. с англ. Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1982. 192 с.
9. Шарило Д. Ю., Коваленко В. О., Коваленко Б. Ю. Особливості використання біофільтрів з різними типами наповнювачів на етапі встановлення біологічної рівноваги в установках замкнутого водозабезпечення // *Тваринництво та технології харчових продуктів.* 2019. Т. 10, вип. 2. С. 61—73.
10. Сандер М. *Техническое оснащение аквариума.* Москва : Астрель, 2004. 256 с.
11. Укрваиндустрія. Загрузка для биофилтра. URL: <http://www.osetr.org.ua/loading.htm>.
12. Загрузка для биофилтров : пат. 5058939/26 ; заявл. от 18.08.1992 ; опубл. 15.10.1994.
13. Бабаджанова О. Ф., Тарнавський А. Б. Застосування гіпохлориту натрію на фільтрувальних станціях // *Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика : XVI Міжнар. наук.-метод. конф., м. Львів, 2018 : матеріали.* Львів, 2018. С. 147—148.
14. Черкасов С. В. *Гипохлорит натрия. Свойства, теория и практика применения.* URL : <http://wwtec.ru/index.php?id=410>.

REFERENCES

1. Schuster, C., & Stelz, H. (1998). Reduction in the make-up water in semi-closed recirculating aquaculture systems. *Aquac. Eng.*, 17, 167-174.
2. Godoy-Olmos, S., Martinez-Llorens, S., Tomas-Vidal, A., Jover-Cerda, M. (2016). Influence of filter medium type, temperature and ammonia production on nitrifying trickling filters performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 328-340.



3. Guerdat, T. C., Losordo, T. M., DeLong, D. P., Jones, R. D. (2013). An evaluation of solid waste capture from recirculating aquaculture systems using a geotextile bag system with a flocculant-aid. *Aquac. Eng.*, 54, 1-8.
4. Hrinevych, N. YE. (2016). Osoblyvosti vykorystannya biofil'triv z riznymi typamy napovnyuvacha v ustanovkakh zamknutoho vodopostachannya v akvakul'turi [Features of the use of biofilters with different types of filler in closed water supply systems in aquaculture]. *Naukovyy visnyk LNUVMBT im. S.Z. Gzhyts'koho*, 3, 57-61.
5. Braynballe, Y. (2010). *Kerivnyts'tvo po akvakul'turi v ustanovkakh zamknutoho vodopostachannya [Guidance on aquaculture in closed water installations]*. Kopenhagen.
6. Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. (2006). *Recirculating Aquaculture*. USA: Cayuga Aqua Ventures.
7. Proskurenko, I. V. (2003). *Zamknutyie rybovodnyie ustanovki [Recirculating aquaculture systems]*. Moscow: VNIRO.
8. Spott, S. (1982). *Soderzhaniye ryby v zamknutykh sistemakh [Fish and invertebrate culture water management in closed systems]*. Moscow: Legkaya i pishcheyaya promyshlennost.
9. Sharylo, D. Yu., Kovalenko, V. O., & Kovalenko, B. Yu. (2019). Osoblyvosti vykorystannya biofil'triv z riznymi typamy napovniuvachiv na etapi vctanovlennia biolohichnoi rivnovahy v ustanovkakh zamknеноho vodo zabezpechennia. *Tvarynnyts'tvo ta tekhnolohii kharchovykh produktiv*, 10(2), 61-73.
10. Sander, M. (2004). *Tekhnicheskoe osnashchenye akvaryuma*. Moscow: Astrel.
11. Ukrakvayndustryia. Zahruzka dlia byofyltra. *osetr.org.ua*. Retrieved from: <http://www.osetr.org.ua/loading.htm>.
12. *Zahruzka dlia byofyl'trov* (1994). Patent. № 5058939/26;
13. Babadzhanova, O. F., & Tarnavskiy, A. B. (2018). Zastosuvannia hipokhlorytu natriiu na fil'truvalnykh stantsiiakh. *Bezpeka zhyttia i diialnosti liudyny – osvita, nauka, praktyka: materialy XVI mizhnar. naukovometodychnoi konferentsii*. Lviv.
14. Cherkasov, S. V. *Hypokhloryt natriya. Svoistva, teoriya y praktyka pryimeneniya*. *wwtec.ru*. Retrieved from: <http://wwtec.ru/index.php?id=410>.

