УДК 628.35

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»

АДАПТАЦІЯ РЯСКОВИХ (*LEMNOIDEAE*) ДО УМОВ ОРГАНІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ

У роботі досліджено стійкість до органічного забруднення перспективних для культивування в очисних спорудах оборотної води УЗВ видів рослин. Визначено темпи росту ряскових як показника рівня адаптації до вмісту у воді органічних сполук.

Ключові слова: *біологічне очищення води, УЗВ, культивування ряскових.*

S.V. KONONTCEV, Y.R. GROKHOVSKA
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne
L.A. SABLIY, M.S. KORENCHUK
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

LEMNOIDEAE ADAPTATION TO ORGANIC POLLUTION OF WATER

One of the promising biotechnologies for de-eutrophication is the usage of the lemnoideae assimilation potential for water fining from biogenic elements, especially from compounds of nitrogen and phosphorus. The recirculating aquaculture system of the fish farming and controlled parameters of the aquatic environment create additional conditions for the effective use of the specified biotechnology in order to remove the main liquid metabolites from reversible water. The purpose of this work is to study the adaptation of lemnoideae to organic pollution in water and to identify the most promising species for use as remediation agents in recirculating aquaculture systems (RAS). The research was carried out on the possibility of lemnoideae adaptation to organic pollution for water surfaces, which receive insufficiently treated household wastewater. To do this, in the plastic containers were placed purified water and a different volume of moist sludge, which was selected on the dirtiest section of the Ustia river below the wastewater disposal of the treatment facilities in Rivne. The dynamic of lemnoideae amount change over time was investigated. The dynamics of the ammonia concentration decrease in water was investigated. The dynamics of the Lemnoideae amount change showed different sensitivity of the species to pollution in the process of cultivation with different volumes of sludge from the contaminated river. According to the results of cultivation, good prospects for use as bioremediators for improving the quality of water are Lemna minor (doubling time – up to 5.2 days), Spirodela polyrrhiza (up to 5.9 days), Wolffia arrhiza (up to 7.6 days). Various reproduction potential and resistance to pollution in certain species allows them to be combined in different proportions, forming an effective bioremediation group.

Keywords: *biological water treatment, RAS, the duckweed cultivation.*

Вступ. Однією з перспективних біотехнологій деевтрофікації є використання асиміляційного потенціалу ряскових для глибокого очищення води від біогенних елементів, особливо від сполук азоту та фосфору. Замкнутий контур водопостачання рибницького господарства та контрольовані параметри водного середовища створюють додаткові умови для ефективного використання зазначеної біотехнології з метою видалення основних рідких метаболітів риб з оборотної води. Під час створення закритих систем очищення води, перспективним є використання тропічних видів, які не мають сезонних явищ у розвитку, однак здатні до інтенсивного вегетативного розмноження. Ряд переваг, які дозволяють розглядати ряскові як перспективні об'єкти для культивування у фітореакторі, зумовлюють інтерес саме до цієї групи рослин. Водночас, підбір рослин має ґрунтуватись також на можливості їх адаптації до параметрів забрудненої води.

Аналіз останніх досліджень. Відомо, що ряскові характеризуються інтенсивним вегетативним розмноженням і різною чутливістю до забруднення. У країнах тропічного та субтропічного поясів окремі види є популярними очисними агентами у системах очищення господарсько-побутових стічних вод [1–3], доочищення стоків тваринницьких комплексів [4, 5], виробництва біопалива [6, 7]. В межах України реалізація асиміляційного потенціалу ряскових є актуальною для систем з оборотним водопостачанням, де існує можливість створення оптимальних умов для культивування рослин впродовж усього року. Одним із перспективних напрямів використання ряскових у ролі очисного агента є відновлення якості оборотної води рибницьких установок із замкнутим водопостачанням (УЗВ), економічна доцільність якого обґрунтована можливістю використання приросту біомаси рослин в якості поживної підкормки для вирощуваних риб [8, 9]. Основною функцією рослин у таких системах відновлення якості води буде видалення з води Нітрогену, що міститься у формі амоній-йону як основного продукту метаболізму риб. Водночас, у забрудненій оборотній воді УЗВ міститься також значна кількість розчинених та дрібнодисперсних органічних сполук [10], які потенційно можуть пригнічувати розвиток рослин. Відповідно, аналіз адаптаційних можливостей окремих представників даної групи рослин дозволить визначити найперспективніші види для культивування з метою очищення води.

Метою даної роботи є дослідження адаптації ряскових до вмісту органічного забруднення у воді та визначення найперспективніших видів для використання в ролі очисних агентів у системах із замкнутим водопостачанням.

Результати дослідження. З метою дослідження стійкості ряскових до комбінованого забруднення води і можливостей їх культивування в ролі очисних агентів було проведено дослідження можливості адаптації до органічного забруднення, характерного для водойм, у які потрапляють недостатньо очищені

господарсько-побутові стічні води. Для цього у пластикові ємності помістили очищену воду і різний об'єм вологого мулу, який був відібраний на найбруднішій ділянці р. Устя нижче скидного колектора очисних споруд м. Рівне. Кількість внесеного мулу у проби води коливалась від 2 до 30 мл (I – 2, II – 4, III – 6, IV – 8, V – 10, VI – 20, IV – 30), що дозволяло створити суттєві розбіжності у рівні забруднення модельних розчинів.

Для порівняння результатів досліду і побудови графіків фіксували зміну чисельності (встановлювали абсолютну кількість рослин в ємностях, яку ділили на початкову кількість) [11]. Відповідно, в результаті досліджень визначено найчутливіші роди та види, що мають кращу адаптацію до вказаних забруднень.

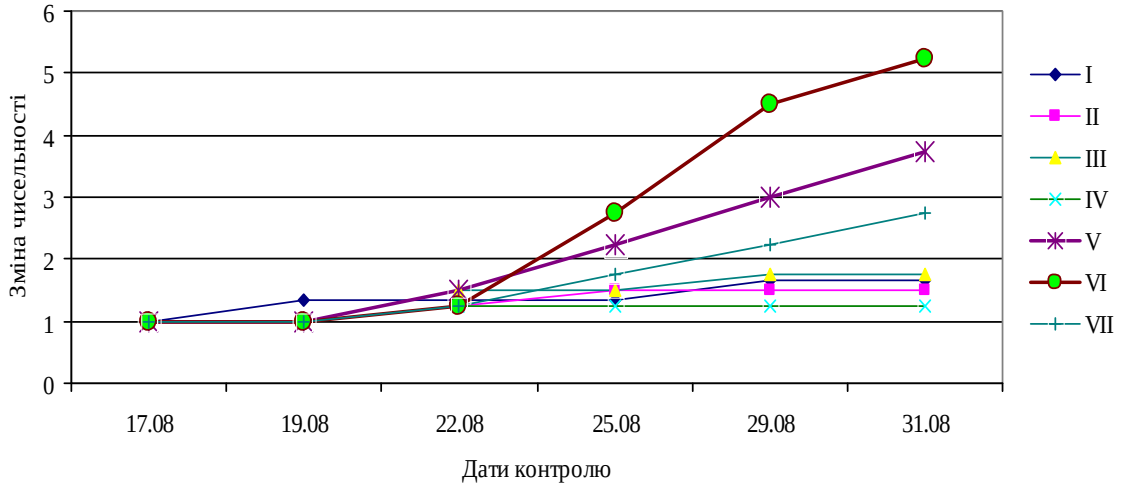

Рис. 1. Динаміка чисельності *Spirodela polyrrhiza*

Чисельність ряски триборозенчастої (*Lemna trisulca*) зазнала найбільших трансформацій – в усіх ємностях у рослин з'явилися некрози і вони загинули, крім одної – з мінімальною концентрацією мулу (рис. 2). Проте, і тут кількість рослин впродовж експерименту зросла лише у 1,4 разу.

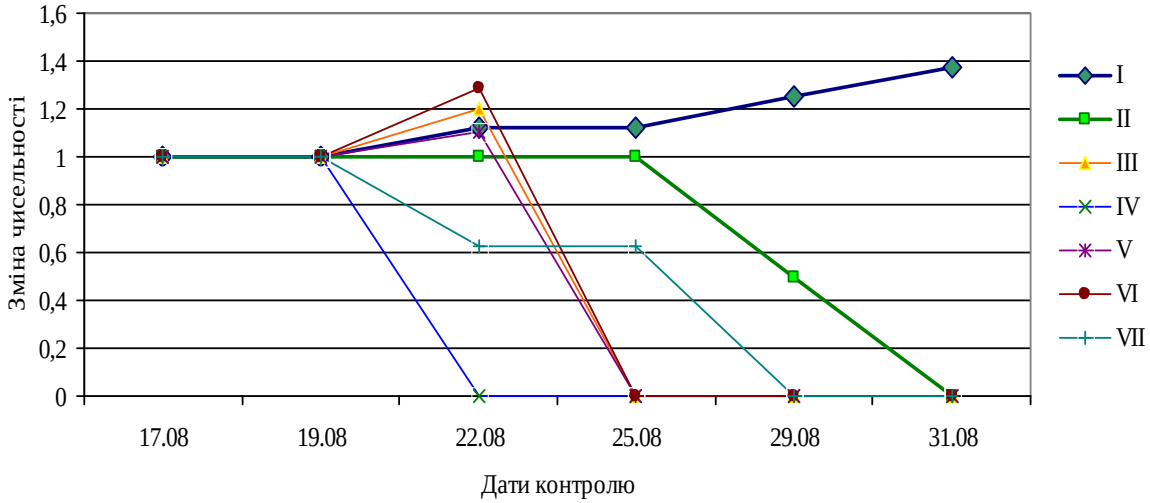

Рис. 2. Динаміка чисельності *Lemna trisulca*

Підрахунок чисельності спіродели багатокореневої (*Spirodela polyrrhiza*) впродовж експерименту показав, що в усіх ємностях кількість рослин поступово зростала (рис. 1). Особливо чисельність спіродели зросла в ємностях з найбільшим обсягом внесеного мулу: 10 мл – у 3,75 разів, 20 мл – у 5,25 разів, 30 мл – у 2,75 разів. Репродуктивний потенціал виду максимально реалізувався в ємності з об'ємом мулу 20 мл (r_{max}= 0,119). Отже, коефіцієнт миттєвого зростання популяції (r) для спіродели становив від 0,016 до 0,119, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – від 43,5 до 5,9 діб відповідно.

Отже, коефіцієнт миттєвого зростання популяції ряски триборозенчастої в умовах мінімального забруднення r = 0,023, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – 30,5 діб. Можливо, лімітуючим чинником для виду виступив високий вміст у воді органічних речовин, оскільки з наукових джерел відомо, що *L. trisulca* – олігосапроб [12].

Чисельність ряски малої (*Lemna minor*) впродовж експерименту поступово зростала (рис. 3).

Коефіцієнт миттєвого зростання популяції (r) набував значень від 0,01 до 0,134, а час подвоєння чисельності ($t_{подв}$) – від 73 до 5,2 діб. Найбільше число рослин в останній день експерименту зафіксовано в трьох ємностях із найбільшим обсягом внесеного мулу, а максимальний приріст чисельності (у 6,5 разів) відбувся в умовах найбільшої його концентрації (30 мл). Оскільки максимально швидкий приріст чисельності і, отже, максимальна реалізація репродуктивного потенціалу виду (r_{max} = 0,134) відбулися в ємності з найбільшою концентрацією мулу, це свідчить про значну стійкість цього виду до забруднення води і добру перспективу використання у ролі біоремедіатора.

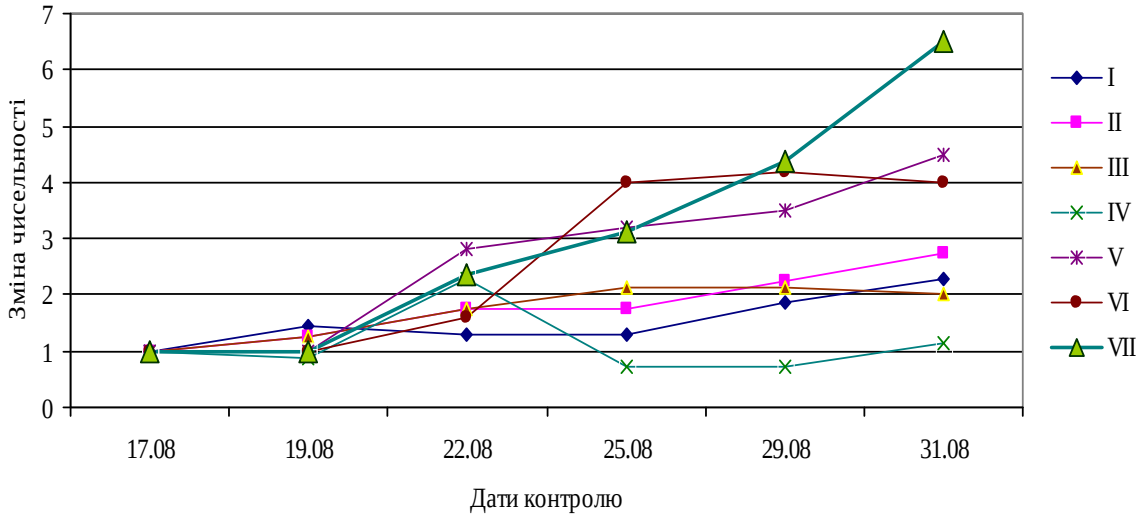

Рис. 3. Динаміка чисельності *Lemna minor*

Впродовж експерименту в трьох ємностях з найбільшою концентрацією мулу (10, 20 і 30 мл) чисельність вольфії безкореневої (*Wolffia arrhiza*) поступово зростала, а в решті – знижувалась (рис. 4).

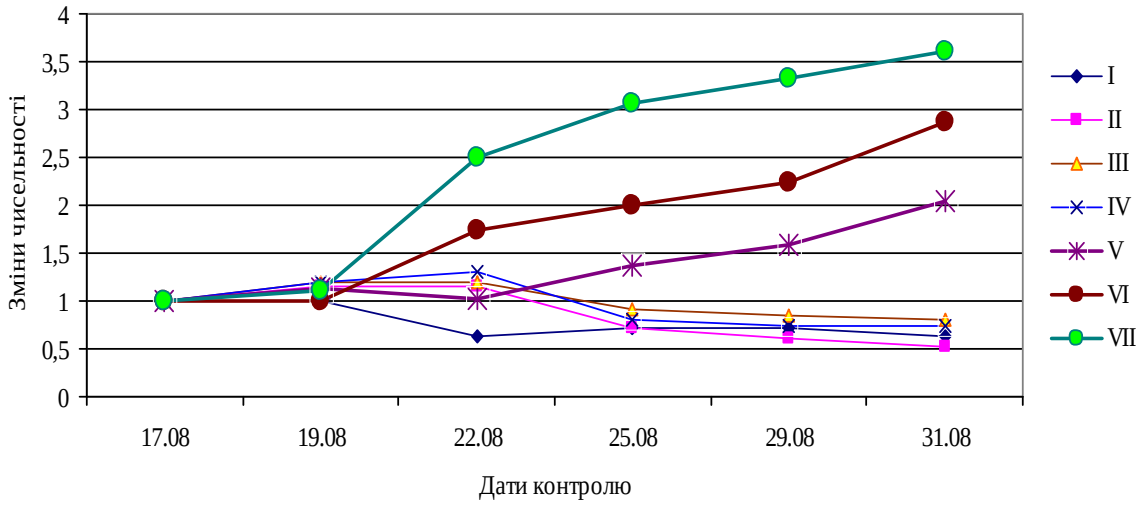

Рис. 4. Динаміка чисельності *Wolffia arrhiza*

Отже, в ємностях з низьким вмістом мулу склалися умови, які перешкоджають реалізації репродуктивного потенціалу виду – очевидно, тут у воді були відсутні у необхідній кількості елементи живлення. Максимальну кількість рослин зафіксовано в умовах найбільшої кількості мулу – вона зросла відносно початкової кількості в 3,6 разів (r_{max} = 0,092). Подвоєння чисельності вольфії ($t_{подв}$) відбулося у термін від 13,6 до 7,6 діб. Вольфія впродовж експерименту показала високу потребу в елементах живлення, значну резистентність до забруднення і досить швидкий приріст чисельності – ознаки доброго біоремедіатора водних екосистем, які зазнають евтрофікації й органічного забруднення.

Найстійкішими до забруднення виявилися ряска мала (*L. minor*) і спіродела багатокоренева (*S. polyrrhiza*). Вони мали максимальний приріст чисельності впродовж експерименту – у 6,5 і 5,25 разів. У цілому резистентна до забруднення вольфія (*W. arrhiza*), очевидно потребує високого вмісту поживних речовин у воді, оскільки добре розмножувалася лише в умовах внесення підвищеного обсягу мулу.

Максимальна концентрація амоній-іонів (4,77 і 5,02 мг/дм^3) зафіксована на третій день

експерименту в ємностях із найбільшим об'ємом внесеного мулу – 20 і 30 мл (рис. 5). За нормативами комплексної екологічної класифікації якості вод така концентрація амоній-іонів відповідає 7 категорії якості, а вода характеризується як гіпертрофна. Впродовж експерименту спостерігалось зниження вмісту амоній-йонів в усіх ємностях – спочатку різке, особливо помітне на високих концентраціях на 6 добу експерименту, потім повільніше. Мінімальна сумарна концентрація (0,286 мг/дм^3) спостерігалася на 12 добу спостережень.

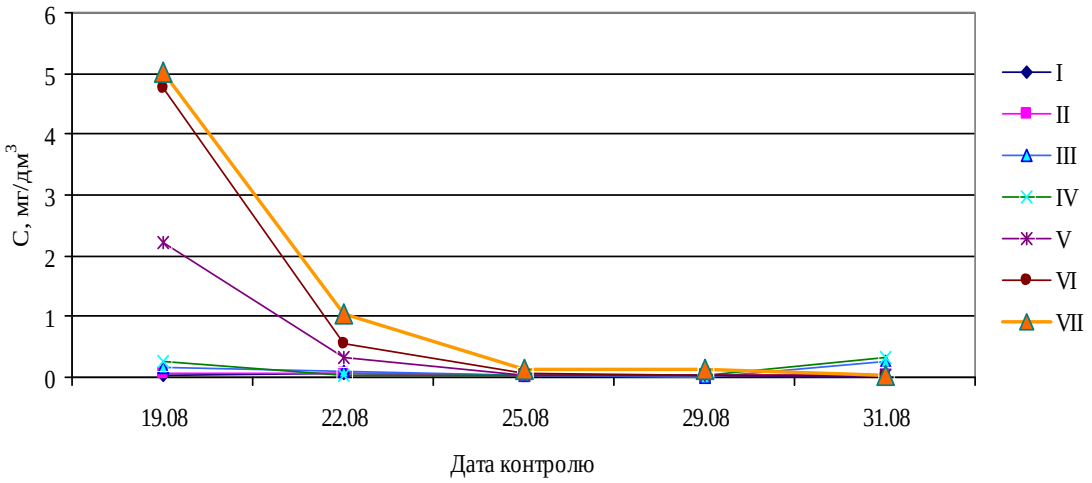

Рис. 5. Динаміка концентрації NH_4^+ під час культивування ряскових

У двох ємностях (з вмістом мулу 6 і 8 мл) на 15 добу експерименту зросла концентрація амоній-іонів до показників, які перевищили початкові значення, що можна пояснити наслідками розкладу органічної речовини мулу.

Висновки. Динаміка чисельності ряскових у процесі культивування з різним об'ємом мулу із забрудненої річки показала різну чутливість видів до забруднення. За результатами культивування добру перспективу використання у ролі біоремедіаторів для покращення якості води мають *L. minor* (час подвоєння чисельності – до 5,2 діб), *S. polyrrhiza* (до 5,9 діб), *W. arrhiza* (до 7,6 діб). Різний потенціал розмноження і стійкість до забруднення в окремих видів дозволяє їх комбінувати у різних пропорціях, формуючи ефективне біоремедіаційне угруповання.

Література

1. Zirschky J., Reed S.C. The use of duckweed for waste-water treatment // Journal Water Pollution Control Federation. – 1988. – 60 (1). – P. 1253-1258.

2. El-Kheir W.A., Ismail G., El-Nour A., Tawfik T. and Hammad D. Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment // International Journal of Agriculture and Biology. – 2007. – 5. – P. 681-689.

3. El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Nasr F.A., Van Der Steen, et. al. Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system // Bioresour. Technol. – 2007. – 98. – P. 798-807.

4. Xu J., Shen G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production // Bioresour. Technol. – 2011. – 102. – P. 848-853.

5. Cheng J., Bergmann B. A., Classen J. J., Stomp A. M., et. al. Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata* // BioresourceTechnology. – 2002. – Vol. 81. – P. 81-85.

6. Bayrakci A. G., Kocar G. Second generation bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir // A case study Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 30. – P. 306-316.

7. Cui W., Cheng J. J. Growing duckweed for biofuel production: A review // Plant Biology. – 2015. – Vol. 17. – Suppl. 1. – P. 16-23.

8. Fasakin E.A., Balogun A.M. and Fasuru B.E. Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuffs in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. // Aquaculture Research. – 1999. – 30. – P. 313-318.

9. Hassan M. S. and Edwards P. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Aquaculture. – 1992. – Vol. 104. – Issue 3-4. – P. 315-326.

10. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. – 2015. – 97 p.

11. Гроховська Ю. Р. Культивування ряскових в умовах забруднення води / Ю. Р. Гроховська // Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 27 жовтня 2016 року. – Житомир : ЖДТУ, 2016. – С. 54.

12. Руководство по методам гидробиологического анализа вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 236 с.

References

1. Zirschky J., Reed S.C. / The use of duckweed for waste-water treatment // Journal Water Pollution Control Federation. – 1988. – 60 (1). – P. 1253-1258.

2. El-Kheir W.A., Ismail, G., El-Nour, A., Tawfik, T. and Hammad, D. / Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment // International Journal of Agriculture and Biology. – 2007. – 5. – P. 681-689.

3. El-Shafai S.A., El-Gohary F.A., Nasr F.A., Van Der Steen, et. al. / Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed ponds system // Bioresour. Technol. – 2007. – 98. P. 798-807.

4. Xu J., Shen G. / Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production // Bioresour. Technol. – 2011. – 102. – P. 848-853.

5. Cheng J., Bergmann B. A., Classen J. J., Stomp A. M., et. al. / Nutrient recovery from swine lagoon water by *Spirodela punctata* // BioresourceTechnology. – 2002. – Vol. 81. – P. 81-85.

6. Bayrakci A. G., Kocar G. /Second generation bioethanol production from water hyacinth and duckweed in Izmir // A case study Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2014. – Vol. 30. – P. 306-316.

7. Cui W., Cheng J. J. / Growing duckweed for biofuel production: A review // Plant Biology. – 2015. – Vol. 17. – Suppl. 1. – P. 16-23.

8. Fasakin E.A., Balogun A.M. and Fasuru, B.E. / Use of duckweed, *Spirodela polyrrhiza* L. Schleiden, as a protein feedstuffs in practical diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* L. // Aquaculture Research. – 1999. – 30. – P. 313-318.

9. Hassan M. S. and Edwards P. / Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) // Aquaculture. – 1992. – Vol. 104. – Issue 3-4. – P. 315-326.

10. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH. –2015. – 97 p.

11. Hrokhovska Yu. R. Kultyvuvannia riaskovykh v umovakh zabrudnennia vody / Yu. R. Hrokhovska // Tezy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Stalyi rozvytok krainy v ramkakh Yevropeiskoi intehratsii», 27 zhovtnia 2016 roku. – Zhytomyr: ZhDTU, 2016. – S. 54.

12. Rukovodstvo po metodam hydrobyolohycheskoho analyza vod y donnыkh otlozhenyi / pod red. V. A. Abakumova. – L. : Hydrometeoyzdat, 1983. – 236 s.

Рецензія/Peer review : 09.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією