

## ВПЛИВ ЗАЛИШКІВ КОРМІВ НА ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В ОБОРОТНИХ СИСТЕМАХ ВИРОЩУВАННЯ КЛАРІЄВОГО СОМА АФРИКАНСЬКОГО (*CLARIAS GARIEPINUS* (BURCHELL, 1822))

Ю. Г. Крот, [yurikrot@ukr.net](mailto:yurikrot@ukr.net), Інститут гідробіології НАН України, м. Київ  
Д. В. Медовник, [medovnyk@nas.gov.ua](mailto:medovnyk@nas.gov.ua), Інститут гідробіології НАН України, м. Київ  
Ю. М. Красюк, [j-krasyuk@ukr.net](mailto:j-krasyuk@ukr.net), Інститут гідробіології НАН України, м. Київ  
Д. О. Кудрявцева, [kudriavtseva@nas.gov.ua](mailto:kudriavtseva@nas.gov.ua), Інститут гідробіології НАН України,  
м. Київ

**Мета.** Вивчити особливості взаємодії між водним середовищем та залишками екструдованих кормів в оборотних системах вирощування кларієвого сома африканського (*Clarias gariepinus*), зміну концентрації сполук неорганічного азоту та фосфору фосфатів.

**Методика.** Об'єктом досліджень є якість водного середовища при моделюванні кормового навантаження згідно з нормативами годівлі різних вікових груп *Cl. gariepinus*. Якість води в експериментальних ємностях визначалась загальноприйнятими в гідрохімічних дослідженнях аналітичними методами.

**Результати.** Встановлено, що надходження до водного середовища неспожитих залишків екструдованих кормів спричиняє погіршення його якості за рахунок зростання концентрації сполук неорганічного азоту та фосфору фосфатів, що може негативно впливати на життєдіяльність *Cl. gariepinus*. За умов достатнього вмісту розчиненого кисню в середовищі активуються процеси нітрифікації. Перевантаження середовища органічною речовиною сприяє перебігу бактеріальних процесів трансформації сполук азоту і фосфору, які характеризуються переважанням амоніфікації та пригніченням окиснювальних процесів.

**Наукова новизна.** Досліджено вплив кормового навантаження на якість водного середовища в оборотних системах для вирощування *Cl. gariepinus*.

**Практична значимість.** Результати досліджень можуть бути використані для оптимізації методів вирощування *Cl. gariepinus* в оборотних системах з регульованими параметрами за високої щільності посадки.

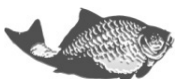
**Ключові слова:** кларієвий сом африканський, якість водного середовища, кормове навантаження, сполуки неорганічного азоту, вміст фосфору фосфатів, регульовані системи замкненого водопостачання.

---

## THE EFFECT OF FEED RESIDUES ON THE QUALITY OF AQUATIC ENVIRONMENT IN CIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS OF AFRICAN CATFISH (*CLARIAS GARIEPINUS* (BURCHELL, 1822))

Yu. Krot, [yurikrot@ukr.net](mailto:yurikrot@ukr.net), Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv  
D. Medovnyk, [medovnyk@nas.gov.ua](mailto:medovnyk@nas.gov.ua), Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

© Ю. Г. Крот, Д. В. Медовник, Ю. М. Красюк, Д. О. Кудрявцева, 2021



**Yu. Krasiuk**, [j-krazyuk@ukr.net](mailto:j-krazyuk@ukr.net), Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**D. Kudriavtseva**, [kudriavtseva@nas.gov.ua](mailto:kudriavtseva@nas.gov.ua), Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**Purpose.** To study the peculiarities of relationships between the aquatic environment and the extruded feed residues in the circulating aquaculture systems intended for growing *Clarias gariepinus*, and changes in the concentrations of inorganic nitrogen compounds and phosphorus phosphates.

**Methodology.** The object of study is the quality of the aquatic environment when modeling the food load in accordance with feeding standards of different age groups of *Cl. gariepinus*. Water quality in experimental tanks was determined by analytical methods.

**Findings.** It was found that the intake of extruded feed residues into the aquatic environment leads to a deterioration in its quality due to an increase in the concentration of compounds of inorganic nitrogen and phosphorus of phosphates, which negatively affects the vital activity of *Cl. gariepinus*. Nitrification processes are activated under conditions of sufficient dissolved oxygen content in the environment. The overload of the aquatic environment with organic matter promotes the bacterial transformation processes of nitrogen and phosphorus compounds, which are characterized by the predominance of the ammonification process and the suppression of oxidative processes. Upon completion of the mineralization of the excess organic matter, the appearance of a sufficient amount of dissolved oxygen activates ammonium oxidation and intensifies nitrification process. The leading factors in the ammonification and nitrification processes in an environment saturated with organic matter include the dissolved oxygen content, which regulates the activity ratio of anaerobic ammonifying and aerobic nitrifying microflora. Optimum aeration in *Cl. gariepinus* cultivation systems is determined not only by the direct physiological needs of fish, but also by the need to maintain a sufficient content of dissolved oxygen to ensure nitrification processes.

**Originality.** The study investigated the effect of the food load on the quality of aquatic environment in the circulating aquaculture systems for *Cl. gariepinus* rearing.

**Practical value.** The study results can be used to optimize *Cl. gariepinus* growing methods in circulating aquaculture systems with adjustable parameters at high stocking densities.

**Key words:** African catfish, quality of the aquatic environment, food load, inorganic nitrogen compounds, phosphorus phosphate content, circulating adjustable systems.

## ВЛИЯНИЕ ОСТАТКОВ КОРМОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ В ОБОРОТНЫХ СИСТЕМАХ ВЫРАЩИВАНИЯ КЛАРИЕВОГО СОМА АФРИКАНСКОГО (*CLARIAS GARIEPINUS* (BURCHELL, 1822))

**Ю. Г. Крот**, [yurikrot@ukr.net](mailto:yurikrot@ukr.net), Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

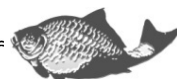
**Д. В. Медовник**, [medovnyk@nas.gov.ua](mailto:medovnyk@nas.gov.ua), Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

**Ю. Н. Красюк**, [j-krazyuk@ukr.net](mailto:j-krazyuk@ukr.net), Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

**Д. А. Кудрявцева**, [kudriavtseva@nas.gov.ua](mailto:kudriavtseva@nas.gov.ua), Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

**Цель.** Изучить особенности взаимоотношений между водной средой и остатками экструдированных кормов в оборотных системах выращивания клариевого сома африканского (*Clarias gariepinus*), изменение концентрации соединений неорганического азота и фосфора фосфатов.

**Методика.** Объектом исследований является качество водной среды при моделировании кормовой нагрузки согласно нормативам кормления различных возрастных



груп *Cl. gariepinus*. *Качество воды в экспериментальных емкостях определялась аналитическими методами.*

**Результаты.** *Установлено, что поступление в водную среду экструдированных кормов приводит к ухудшению ее качества за счет роста концентрации соединений неорганического азота и фосфора фосфатов, что негативно влияет на жизнедеятельность *Cl. gariepinus*. В условиях достаточного содержания растворенного кислорода в среде активизируются процессы нитрификации. Перегрузка среды органическим веществом способствует протеканию бактериальных процессов трансформации соединений азота и фосфора, которые характеризуются преобладанием аммонификации и угнетением окислительных процессов.*

**Научная новизна.** *Исследовано влияние кормовой нагрузки на качество водной среды в оборотных системах выращивания *Cl. gariepinus*.*

**Практическая значимость.** *Результаты исследований могут быть использованы для оптимизации методов выращивания *Cl. gariepinus* в оборотных системах с регулируемыми параметрами при высокой плотности посадки.*

**Ключевые слова:** *клариевый сом африканский, качество водной среды, кормовая нагрузка, соединения неорганического азота, содержание фосфора фосфатов, оборотные регулируемые системы.*

---

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

При промисловому вирощуванні кларієвого сома африканського (*Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)) в оборотних регульованих системах хімічний склад і властивості водного середовища трансформуються під впливом процесів життєдіяльності вирощуваних об'єктів і мікроорганізмів, кількості і якості внесеного корму, а також інших біотичних і абіотичних чинників. Якісно змінюючись, середовище, за принципом зворотного зв'язку, впливає на функціональний стан риб, регулюючи їх темп росту, розвитку і відтворення.

Аналіз доступних літературних даних дозволив виявити, що всі існуючі технології вирощування *Cl. gariepinus* характеризуються досить низькою якістю водного середовища [1, 2]. При цьому біомаса риб, що знаходиться в обмеженому об'ємі, може досягати 500 кг/м<sup>3</sup> і вище [3–5].

У більшості робіт, присвячених проблемам масового вирощування *Cl. Gariepinus*, відзначається, що однією з можливих причин пригнічення росту риб є гідрохімічний режим [1, 6–8].

Як відомо, концентрація корму в оборотних системах вирощування риб належить до числа основних чинників, що визначають не лише продукційні показники, але і склад та властивості водного середовища, змінюючи його фізико-хімічні і мікробіологічні характеристики.

Враховуючи те, що оптимальна якість водного середовища є невід'ємною складовою при вирощуванні риб в оборотних системах, а кормове навантаження істотно впливає на її формування, основна увага приділялася особливостям взаємовідносин між цими чинниками, зміні концентрації сполук неорганічного азоту та фосфору фосфатів.



## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ. МЕТА РОБОТИ

При штучному вирощуванні *Clarias gariepinus*, серед дослідників та практиків дотепер немає єдиної думки з питань годівлі риб на різних етапах онтогенезу [2, 9, 10]. Зазвичай автори обмежуються приведенням вибіркового значень окремих характеристик середовища (величини рН, t°C, O<sub>2</sub>, ХСК тощо) без детального аналізу якісного і кількісного складу і властивостей водного середовища, процесів, що відбуваються, та їх взаємозв'язку з біологічним станом риб. Ця обставина викликає певні труднощі в управлінні процесом вирощування *Cl. gariepinus* і висуває необхідність вивчення особливостей формування якості водного середовища під дією кормового навантаження.

Окремої уваги потребує дослідження впливу на середовище дрібної фракції кормів, що виникає під час транспортування та не є доступною для споживання рибами. Надходження до середовища надлишку органічної речовини у складі корму може спричинити додаткове його забруднення, що здатне негативно вплинути на життєдіяльність риб.

Успішне вирішення даної проблеми вимагає пошуку взаємозалежних параметрів у відносинах «організм ↔ середовище ↔ корми», не руйнуючи складної мережі існуючих взаємодій.

У зв'язку з цим, метою роботи є дослідження особливостей взаємовідносин між водним середовищем та залишками екструдованих кормів в оборотних системах вирощування кларієвого сома африканського (*Cl. gariepinus*).

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Моделювання процесу впливу залишків кормів на якість водного середовища здійснювали в оборотних системах з автоматичним регулюванням температурного, газового режимів, освітленості та фотоперіоду, змодельованих з розрахунку їх оптимальних значень при вирощуванні *Cl. gariepinus* в оборотній системі [11]. З метою уникнення контамінації середовища продуктами метаболізму риб, іхтіологічний матеріал у досліді не застосовувався.

Дослідження проводили у ємностях об'ємом 100 дм<sup>3</sup> при температурі 26±1,0°C, інтенсивності освітлення 425 люкс, фотоперіоді 12С:12Т. Насичення води киснем здійснювалося за рахунок примусової аерації стиснутим повітрям зі швидкістю 0,2 дм<sup>3</sup>/хв. Для коректної оцінки впливу внесеної кількості корму на якість середовища механічне та біологічне очищення води не використовувалось.

В якості вихідного середовища використовували водопровідну воду, подача якої в експериментальні ємності здійснювалася з блоку первинної водопідготовки, де вона проходила відстоювання з метою дехлорування, термостабілізації та оптимізації кисневого режиму. Встановлено, що за умов постійної аерації в перший тиждень підготовки води відмічено підвищення концентрації нітритів і величини рН за межі оптимальних значень для кларієвого сома, тому її відстоювання здійснювали протягом двох тижнів без аерації. Подачу стиснутого повітря у ємності здійснювали від початку експерименту. Показники якості вихідної води, а також оптимальні і критичні величини біогенних елементів в середовищі при вирощуванні *Cl. gariepinus* наведено в таблиці 1.



Таблиця 1. Вихідні параметри якості води

Table 1. Initial water quality parameters

Показники / Indicators	Вихідні параметри / Initial parameters	Оптимальні / критичні величини для <i>Cl. gariepinus</i> / Optimal / critical values for <i>Cl. gariepinus</i>	Джерело / Source
Температура, °C / Temperature, °C	26±1,0	25–30 / 14–15	[13, 14]
Величина рН, од. рН / pH value	8,28±0,04	6,0–8,0 / <6,0; >8,0	[13]
Кисень розчинений, мг/дм <sup>3</sup> / Dissolved oxygen, mg/dm <sup>3</sup>	6,95±0,23	5,0–5,5 / 1–2	[12]
БСК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> / BOD <sub>5</sub> , mg/dm <sup>3</sup>	0,6±0,06	5–20 / >20	[15]
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг N/дм <sup>3</sup> / NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0,035±0,003	<10 / 10 мг/дм <sup>3</sup>	[13]
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup> / NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0,001±0,01	< 1 / 1 мг/дм <sup>3</sup>	[13]
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/дм <sup>3</sup> / NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0,021±0,004	< 100 / 100 мг/дм <sup>3</sup>	[13]
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup> / P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg/dm <sup>3</sup>	0,003±0,05	0,5 / >0,5	[14]

Відбір проб води з експериментальних ємностей проводили щодоби перед початком внесення корму для визначення гідрохімічних показників: рівень рН, БСК<sub>5</sub>, О<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>. Як у дослідних, так і в контрольних ємностях заміну води і її поповнення не проводили; кількість корму, що вносилася, корегувалася згідно із залишковим об'ємом води.

Якість води в експериментальних ємностях визначалася аналітичними методами [16, 17].

Для моделювання кормового навантаження використовували спеціалізований екструдований корм «Aller Vona Float» (42% білка, 12 — ліпідів, 28,2 — вуглеводів, 6,8 — золи, 3,0 — волокна, 1,0 — фосфору, з енергетичною цінністю 20 Мдж та засвоюваною енергією 15,8 МДж).

Враховуючи, що соми *Cl. gariepinus* активно споживають екструдовані комбікорми, які практично не встигають розчинитися у воді, для розрахунку кількості їх залишку, що впливає на якість середовища, прийнято дрібнодисперсну фракцію, що утворюється в процесі їх транспортування. Згідно із критеріями для сомових видів риб, кришимість екструдованих кормів становить не більше 3,0 % [18].

Розрахунок маси умовних залишків корму, яку вносили в дослідну ємність, проведено згідно із рекомендованими нормативами годівлі *Cl. gariepinus* за температури 26°C [19]. Кількість корму була розрахована для розмірних груп 50–150 г (щільність посадки — 25 кг/100 дм<sup>3</sup>, кормовий коефіцієнт — 4,17% від біомаси риби), 150–500 г (25 кг/100 дм<sup>3</sup> та 2,67% відповідно) та 500–1500 г (15 кг/100 дм<sup>3</sup> та 1,71%) відповідно до рекомендацій виробника.

В якості контролю використовувалася система з аналогічними характеристиками, що не зазнавала кормового навантаження протягом експерименту. Дослідження проводилися у трьох повторах протягом 16 діб.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали із застосуванням програм *Microsoft Excel* та *Statistica 6.0*.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дію зростаючого режиму кормового навантаження на якість водного середовища в оборотних системах вирощування *Cl. gariepinus* вивчали шляхом внесення корму у модельні ємності відповідно до обраного режиму годівлі різних вікових груп риб.

Кількість корму, відповідно до розрахунків, становила 0,076; 0,196 та 0,312 г/дм<sup>3</sup> на добу, сумарне кормове навантаження на систему складало відповідно 0,304; 0,784 та 1,248 г/дм<sup>3</sup>. Умовним контролем слугувало середовище, яке не підлягало дії корму.

Динаміка гідрохімічних параметрів середовища в дослідних ємностях вказала на значне погіршення його якості під впливом кормового навантаження.

Так, максимальна концентрація N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (рис. 1 Б) при сумарному кормовому навантаженні 0,304 г/дм<sup>3</sup> (внесення корму протягом 4-х діб), перевищувала фонові показники (0,033±0,003 мг N/дм<sup>3</sup>) у 205 разів (p < 0,01) вже на 6-у добу експерименту.

При сумарному кормовому навантаженні 0,784 та 1,248 г/дм<sup>3</sup> (рис. 2 Б, 3 Б) відмічено перевищення фонових показників з піком на 10-у добу, у 2191 та 1956 разів відповідно (p < 0,01).

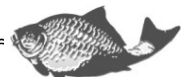
У подальшому спостерігалось падіння вмісту N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в усіх варіантах досліду, і на 16-у добу його значення перевищували початкові концентрації у 15, 31 та 25 разів (p < 0,01). В контролі (див. рис. 1 А) максимальне підвищення N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> у 22 рази спостерігалось на 9-у добу, з подальшим падінням до значення, що перевищувало вихідне у 12 разів (p < 0,01) на 16-у добу.

Можна припустити, що накопичення N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> у середовищі за даних умов було зумовлено життєдіяльністю гетеротрофних мікроорганізмів, що розвиваються за рахунок органічної речовини (ОР) внесеного корму.

Період високої активності гетеротрофної мікрофлори в експерименті супроводжувався підвищеною каламутністю води і появою опалесценції на її поверхні, що свідчить про перевантаження системи ОР [20].

При цьому відмічається стрімке зростання рівня БСК<sub>5</sub> до 23,4±0,6 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (8-а доба), падіння до мінімальної (1–2 мг/дм<sup>3</sup>) для життєдіяльності риб концентрації розчиненого у воді O<sub>2</sub> (12-а доба), поступове підвищення величини рН з 8,28 до 8,74 на 16-у добу (див. рис. 1). У період низького (<2 мг/дм<sup>3</sup>) рівня розчиненого у воді кисню (11-а доба) вода мала гнилісний запах, що вказує на анаеробну спрямованість деструкційного процесу. У контрольному середовищі при незначному розвитку гетеротрофних мікроорганізмів цей період характеризувався рівнем БСК<sub>5</sub> не більше 0,6±0,05 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, вмістом розчиненого O<sub>2</sub> у межах 88–45% насичення, збільшенням величини рН із 8,28 до 8,73.

Пригнічення процесів окиснення у середовищі за дії зростаючого кормового навантаження підтверджує також характер динаміки NO<sub>2</sub><sup>-</sup> та NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. У контрольному середовищі на фоні відсутності NO<sub>2</sub><sup>-</sup> на початку експерименту відзначено стійку тенденцію до його підвищення з 10-ї по 16-у добу. В досліді спостерігається збільшення концентрації NO<sub>2</sub><sup>-</sup> до критичних (1 мг/дм<sup>3</sup>) для риб значень при кормовому навантаженні 0,304 та 0,784 г/дм<sup>3</sup> на 11-у, а при 1,248 г/дм<sup>3</sup> — на 15-у добу (див. рис. 1–3). При цьому низькі концентрації іонів (<0,029 мг N/дм<sup>3</sup>) спостерігалися протягом 8–10 діб від початку експерименту.



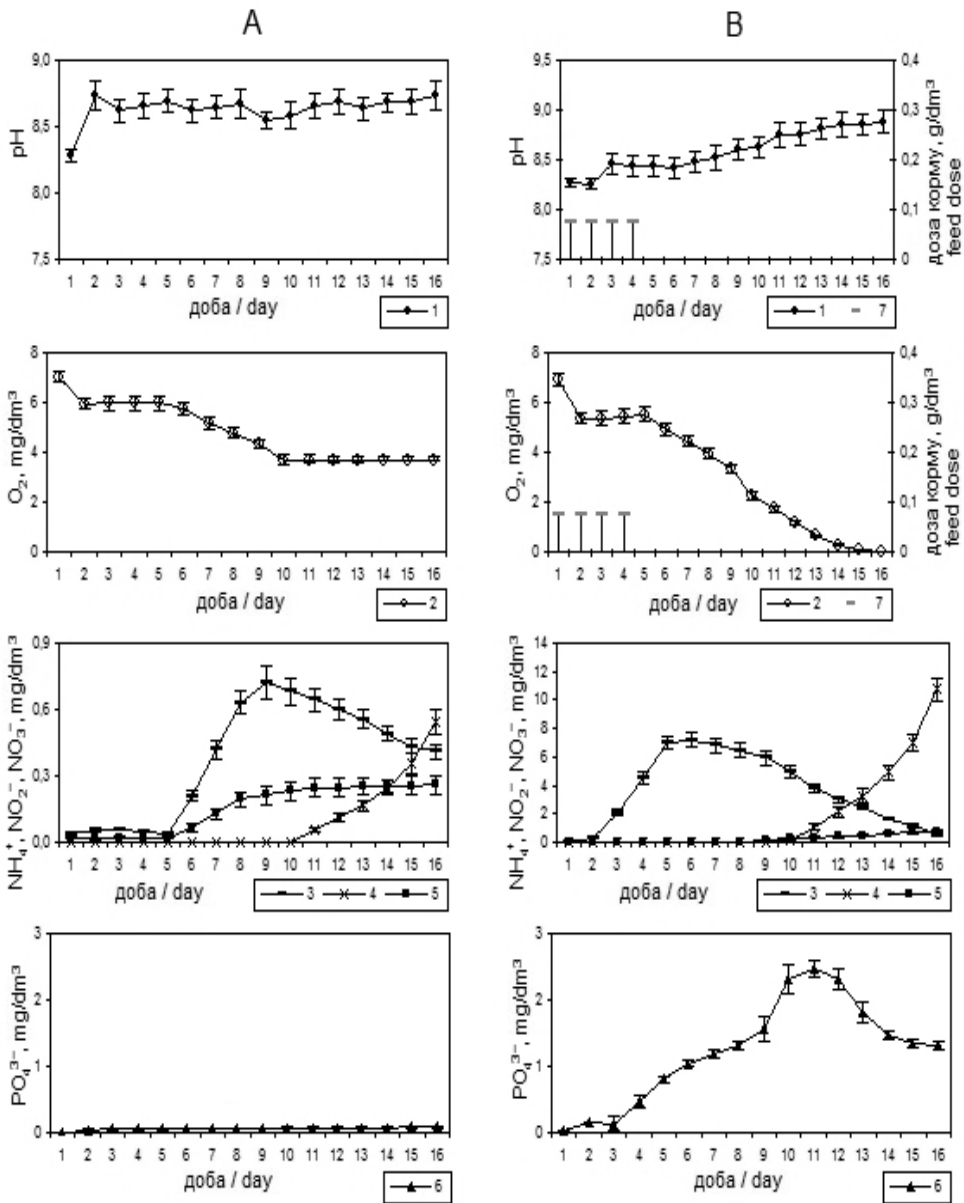
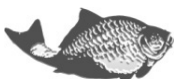


Рис. 1. Динаміка гідрохімічних параметрів середовища під впливом сумарного кормового навантаження  $0,304 \text{ г/дм}^3$  ( $M \pm m$ ,  $n=3$ )

Примітка. 1 — pH; 2 —  $O_2$ ; 3 —  $NH_4^+$ ; 4 —  $NO_2^-$ ; 5 —  $NO_3^-$ ; 6 —  $PO_4^{3-}$ ; 7 — доза корму;  
А — контроль, В — дослід.

Fig. 1. Dynamics of the aquatic environment hydrochemical parameters under the influence of the total food load  $0,304 \text{ g/dm}^3$  ( $M \pm m$ ,  $n=3$ )

Note: 1 — pH; 2 —  $O_2$ ; 3 —  $NH_4^+$ ; 4 —  $NO_2^-$ ; 5 —  $NO_3^-$ ; 6 —  $PO_4^{3-}$ ; 7 — feed dose; A — control, B — experiment.



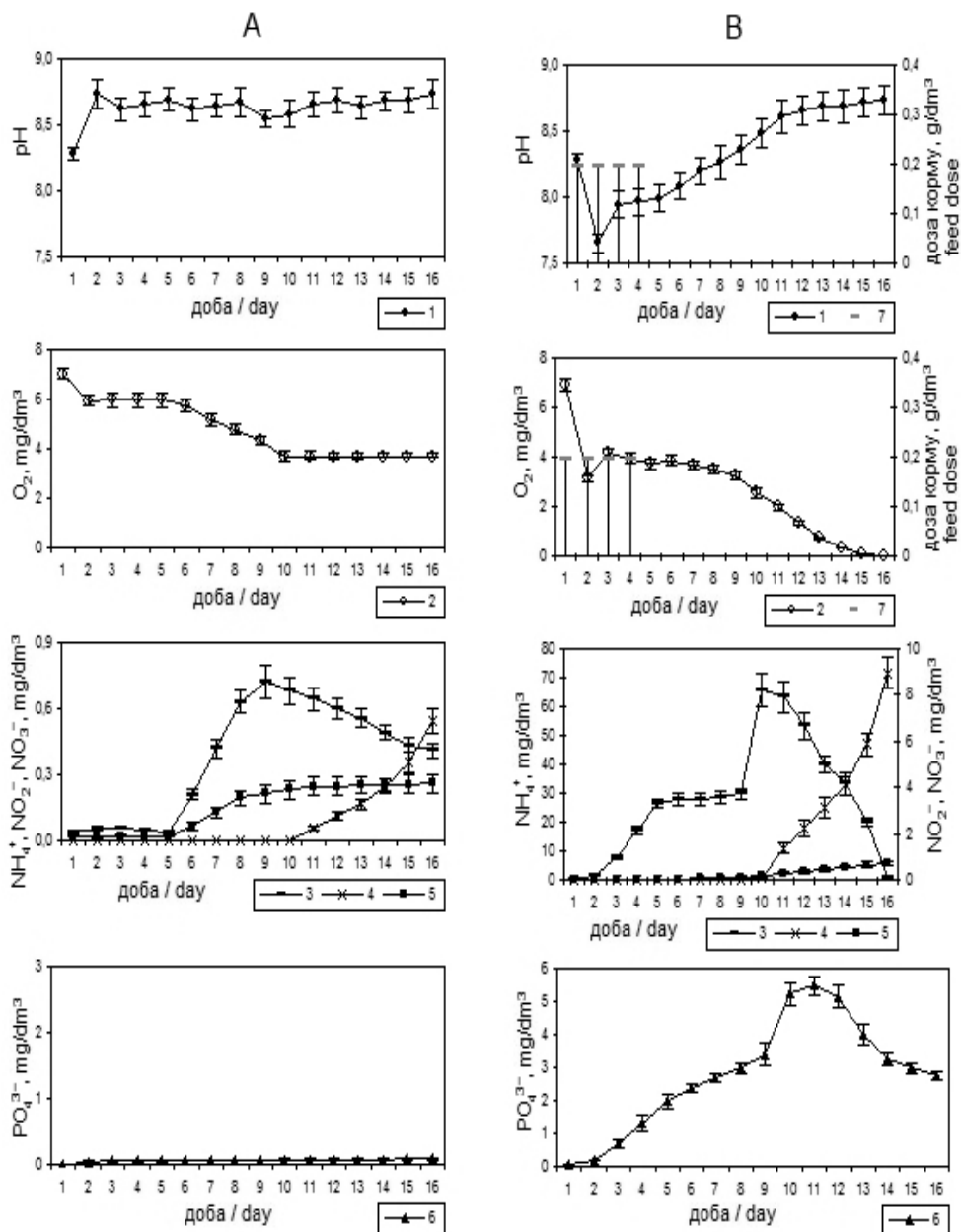


Рис. 2. Динаміка гідрохімічних параметрів середовища під впливом сумарного кормового навантаження 0,784 г/дм<sup>3</sup> (M±m, n=3)

Примітка: 1 — pH; 2 — O<sub>2</sub>; 3 — NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 4 — NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; 5 — NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 6 — PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; 7 — доза корму; А — контроль, В — дослід.

Fig. 2. Dynamics of the aquatic environment hydrochemical parameters under the influence of the total food load 0,784 g/dm<sup>3</sup> (M±m, n=3)

Note: 1 — pH; 2 — O<sub>2</sub>; 3 — NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 4 — NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; 5 — NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 6 — PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; 7 — feed dose; A — control, B — experiment.





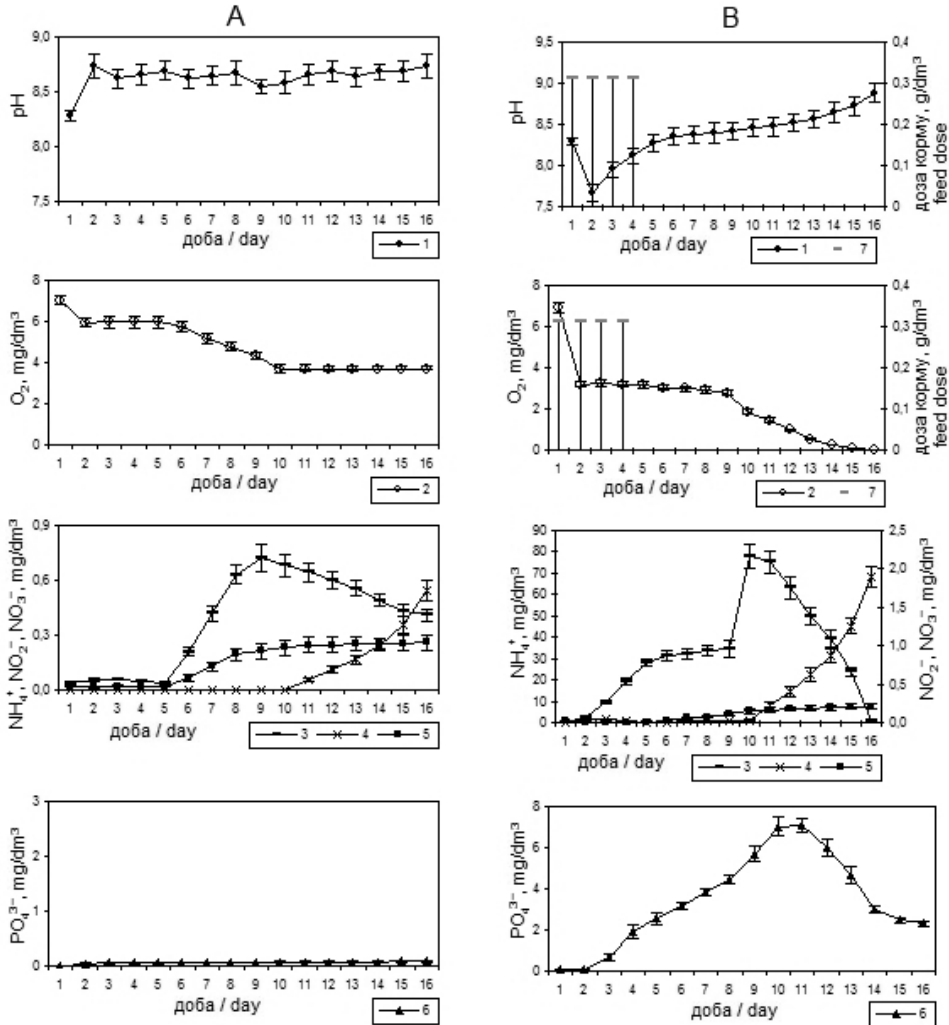


Рис. 3. Динаміка гідрохімічних параметрів середовища під впливом сумарного кормового навантаження 1,248 г/дм<sup>3</sup> (M±m, n=3)

Примітка: 1 – рН; 2 – O<sub>2</sub>; 3 – NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 4 – NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; 5 – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 6 – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; 7 – доза корму; А – контроль, В – дослід.

Fig. 3. Dynamics of the aquatic environment hydrochemical parameters under the influence of the total food load 1,248 g/dm<sup>3</sup> (M±m, n=3)

Note: 1 – pH; 2 – O<sub>2</sub>; 3 – NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 4 – NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; 5 – NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 6 – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; 7 – feed dose; A – control, B – experiment.

Активізація нітритоутворення за кормового навантаження 0,304 г/дм<sup>3</sup> (див. рис. 1 Б) відбулася після проходження максимуму вмісту N–NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (6-а доба), тобто після закінчення в середовищі процесу мінералізації надлишку ОР, при середній концентрації розчиненого O<sub>2</sub> 5,6±0,1 мг/дм<sup>3</sup>. У результаті рівень NH<sub>4</sub><sup>+</sup> став знижуватися, а кількість NO<sub>2</sub><sup>-</sup> наприкінці дослідів перевищила контрольний рівень у 20 разів (p<0,01).



За умов більш значного кормового навантаження 0,784 та 1,248 г/дм<sup>3</sup>, (див. рис. 2 Б, 3 Б) при максимумі іонів N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> в середньому 71,976 мг/дм<sup>3</sup> (10-а доба) та зниженні концентрації розчиненого у воді O<sub>2</sub> до 2,21±0,1 мг/дм<sup>3</sup> відмічено зростання в середовищі вмісту іонів NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, який перевищував контрольні значення відповідно у 16,0 та 3,5 разів.

Хід наступної фази нітрифікації в експериментальному середовищі в умовах дефіциту O<sub>2</sub> характеризувався зростанням вмісту NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, при кормовому навантаженні 0,304 і 0,784 мг/дм<sup>3</sup> у 2,8 раза (див. рис. 1 Б, 2 Б), при цьому за умов кормового навантаження 1,248 г/дм<sup>3</sup> мав однакові з контролем значення (див. рис. 3).

Низькі концентрації NO<sub>3</sub><sup>-</sup> протягом досліду, найімовірніше, можуть бути пов'язані з використанням їх гетеротрофною мікрофлорою, що розвивається в середовищі. Встановлено, що для нормальної життєдіяльності гетеротрофним бактеріям, крім органічних сполук, необхідна також достатня кількість мінерального азоту [21]. В умовах надлишку легкодоступної ОР у середовищі ці потреби зростають [22]. Тому в процесі розвитку асоціації гетеротрофів у насиченому ОР середовищі найважливішим джерелом неорганічного азоту стають NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, тобто відбувається асиміляційна денітрифікація [21]. Можна припустити, що низький рівень NO<sub>3</sub><sup>-</sup> у досліджуваній системі істотно знижувався під впливом денітрифікувальної мікрофлори за умов кисневого голодування.

Отже, отримані дані свідчать про гальмування процесу нітратоутворення в експериментальній системі під впливом зростаючого кормового навантаження.

Необхідно відмітити, що характер динаміки NO<sub>2</sub><sup>-</sup> і NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, будучи показником функціонування в середовищі процесів бактеріальної трансформації сполук азоту, безпосередньо пов'язаний з особливостями біології нітрифікуючих бактерій. Відомо [23, 24], що на повне бактеріальне окиснення 1 мг N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> витрачається 4,6 мг O<sub>2</sub>, тобто процес нітрифікації є кисневоємним. У зв'язку з цим, всі автотрофні нітрифікатори, як аероби, дуже чутливі до ступеня аерації водного середовища. За біохімічного очищення забруднених вод лімітувальна концентрація розчиненого кисню для нітрифікації коливається від 0,5 до 2,5 мг/дм<sup>3</sup>, збільшуючись до 4,0 мг/дм<sup>3</sup> при змінних навантаженнях [25]. Беручи до уваги той факт, що представлена експериментальна система функціонувала в режимі збільшення кормового навантаження, отримані результати добре узгоджуються з вищенаведеними літературними даними.

Вміст фосфору фосфатів у водному середовищі при кормовому навантаженні 0,304; 0,784; 1,248 мг/дм<sup>3</sup>, поступово підвищуючись, досягав піку на 11-ту добу, перевищуючи вихідні значення відповідно у 124, 166, 151 раз із подальшим зниженням на 16-у добу досліду майже у 2 рази (рис. 1–3). У контролі вміст P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> підвищився з 0,001 до 0,008 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким чином, проведені дослідження виявили особливості перебігу мікробіологічних процесів трансформації корму, що не засвоюється кларієвим сомом африканським, та їх роль у формуванні якості водного середовища в умовах зростаючого кормового навантаження протягом розвитку риб. Встановлено, що найважливішим чинником, що регулює хід перетворень сполук неорганічного азоту і характер становлення відповідних груп амоніфікувальних і нітрифікувальних мікроорганізмів у насиченому ОР середовищі, є вміст



розчиненого  $O_2$ .

Порівняльний статистичний аналіз отриманих даних за допомогою коефіцієнта лінійної кореляції Пірсона ( $r_p$ ) [26] підтвердив істотний зв'язок між діючим кормовим навантаженням та гідрохімічними параметрами середовища.

Так, відзначено значний позитивний зв'язок вмісту в середовищі амонійного азоту і фосфору фосфатів з кількістю внесеного корму (0,96 і 0,98 відповідно), що може бути пов'язано безпосередньо з розкладанням органічної речовини (корму) гетеротрофною мікрофлорою. Крім того, слід відзначити позитивну кореляцію між вмістом амонійного азоту та фосфору фосфатів (0,91–0,92), що надходили до водного середовища з внесеним кормом. Разом з тим, відмічено значний негативний зв'язок між рівнем рН та вмістом розчиненого у воді кисню з кількістю внесеного корму (–0,88 та –0,91 відповідно), що може бути спричинено проходженням процесів нітрифікації. На користь цього припущення свідчить негативний зв'язок між концентрацією розчиненого кисню та вмістом нітритного (–0,72 — –0,80) і нітратного (–0,84 — –0,94) азоту та позитивний зв'язок між вмістом вказаних форм азоту з величиною рН (0,71–0,77 і 0,83–0,93 відповідно), що може бути пов'язано з окисненням іонів амонію в процесі нітрифікації. Також встановлено позитивну кореляцію між вмістом в середовищі нітритного та нітратного азоту (0,74–0,95), однак їх взаємозв'язків з кількістю внесеного корму та концентрацією амонійного азоту не відмічено.

Таким чином, на підставі отриманих даних можна припустити, що провідну роль в комплексі одержаних залежностей відіграють параметри, що характеризують кормове навантаження, динаміку БСК<sub>5</sub> і  $NH_4^+$ . Важливою особливістю даного комплексу є слабо виражені взаємозв'язки динаміки  $NO_2^-$  і, особливо,  $NO_3^-$  з іншими параметрами середовища, окрім кисневого режиму й водневого показника. Вказані ефекти можуть бути наслідком того, що в середовищі під дією зростаючого КН переважає процес амоніфікації і відбувається гальмування киснезалежного процесу нітрифікації.

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Залишки кормів, що надходять у середовище вирощування кларієвого сома африканського (*Clarias gariepinus*), чинять значний негативний вплив на якість першого, сприяючи підвищенню концентрації сполук неорганічного азоту та фосфору фосфатів.

У водному середовищі, що характеризується низьким рівнем мікробіологічних процесів, при надходженні значної кількості органічної речовини відбувається розвиток насамперед угруповання сапрофітних бактерій, яким притаманна більша швидкість росту порівняно з автотрофними нітрифікаторами, що підтверджується динамікою якості водного середовища.

При одночасній присутності іонів  $N-NH_4^+$  і надлишку біохімічно нестійкої органічної речовини спочатку відбувається окиснення ОР гетеротрофними бактеріями (амоніфікація) і використання ними ж амонійних і нітратних іонів як джерела мінерального азоту.

Дефіцит  $O_2$ , що виникає у водному середовищі, пригнічує утилізацію  $N-NH_4^+$  нітрифікувальними бактеріями, що призводить до його накопичення в оборотній системі.

Поява достатньої кількості розчиненого кисню після закінчення мінералізації



надлишкової органічної речовини активує процес окиснення амонію та посилює перебіг процесів нітрифікації.

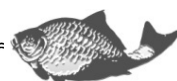
До провідних чинників при проходженні процесів амоніфікації та нітрифікації в середовищі, насиченому органічною речовиною, можна віднести вміст розчиненого кисню, що регулює співвідношення активності анаеробної амоніфікуючої та аеробної нітрифікуючої мікрофлори.

Оптимальний рівень аерації ( $>4 \text{ мг/дм}^3$ ) в системах вирощування *Cl. gariepinus* визначається не лише безпосередніми фізіологічними потребами риб, але і необхідністю підтримання достатнього вмісту розчиненого кисню для забезпечення процесів нітрифікації.

Провідну роль в оцінці якості водного середовища відіграють показники БСК<sub>5</sub> і  $\text{NH}_4^+$ , що характеризують ступінь кормового навантаження, та взаємозв'язки динаміки  $\text{NO}_2^-$  і  $\text{NO}_3^-$  з іншими параметрами середовища, що відображають інтенсивність трансформації сполук неорганічного азоту.

### ЛІТЕРАТУРА

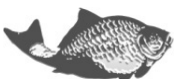
1. The impact of elevated water ammonia concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish (*Clarias gariepinus*) / Schram E. et al. // Aquaculture. 2010. Vol. 306. P. 108—115.
2. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces – A Review / Yildiz Y. H. et al. // Water. 2017. Vol. 9 (1). P. 13.
3. Bovendeur J., Eding E. H., Henken A. M. Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) // Aquaculture. 1987. Vol. 63. P. 329—353.
4. Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell / Van de Nieuwegiessen P. G. et al. // Applied Animal Behaviour Science. 2008. Vol. 115. P. 233—243.
5. Effects of age and stocking density on the welfare of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell / Van de Nieuwegiessen P. G. et al. // Aquaculture. 2009. Vol. 288 (1). P. 69—75.
6. Defences against ammonia toxicity in tropical air-breathing fishes exposed to high concentrations of environmental ammonia: a review / Ip Y. K. et al. // The Journal of Comparative Physiology B. 2004. Vol. 174 (7). P. 565—575.
7. African Sharptooth Catfish *Clarias gariepinus* Does Not Detoxify Ammonia to Urea or Amino Acids but Actively Excretes Ammonia during Exposure to Environmental Ammonia / Ip Y. K. et al. // Physiological and Biochemical Zoology. 2004. Vol. 77 (2). P. 242—254.
8. Кононцев С. В. Біотехнологія очищення води при вирощуванні кларієвого сома в УЗВ. // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. 2016. № 3 (20). С. 57—64.
9. Chandroo K. P., Duncan I. J. H., Moccia R. D. Can Fish Suffer? Perspectives on Sentience, Pain, Fear and Stress // Applied Animal Behaviour Science. 2004. Vol. 86. P. 225—250.
10. Braithwaite V. A., Boulcott P. Can fish suffer? // Fish Welfare. Oxford : Blackwell Publishing Ltd., 2008. P. 78—92.
11. Baßmann B., Brenner M., Palm H. W. Stress and welfare of African Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system // Water. 2017. Vol. 9. P. 504.



12. Власов В. А. Результаты выращивания африканского сома при различных условиях кормления и содержания // Известия ТСХА. 2009. Вып. 3. С. 136—146.
13. Артеменков Д. В. Выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в УЗВ на комбикормах с добавками пробиотика «Субтилис»: дисс. ... кандидата с.-х. наук : 06.04.01. Москва : РГАУ, 2013. 139 с.
14. Романова Е. М., Любомирова В. Н., Мухитова М. Э. Биологический контроль фертильности самок клариевого сома в бассейновой аквакультуре // Вестник Ульяновской ГСА. 2016. № 3 (35). С. 78—84.
15. Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Rome : FAO and EUROFISH, 2015.
16. Лурье Ю. Ю. Унифицированные методы анализа вод. Москва : Химия, 1973. 376 с.
17. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. Москва : Химия, 1984. 448 с.
18. Власов В. А. Какие комбикорма лучше усваивает клариевый сом // Комбикорма. 2012. № 5. С. 67—69.
19. Fish feed for aquaculture. Highest quality by Aller Aqua. URL: <https://www.aller-aqua.com/> (дата звернення : 22.09.2020).
20. Методика технологического контроля работы очистных сооружений городской канализации / Склярова М. К. и др. Москва : Стройиздат, 1977. 299 с.
21. Кузнецов С. И., Орлов А. И., Назин Т. Н. Микробиологические процессы круговорота углерода и азота в озерах. Москва : Наука, 1985. 216 с.
22. Яковлев С. В., Карюхина Т. А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. Москва : Стройиздат, 1980. 199 с.
23. Готшалк Г. Метаболизм бактерий. Москва : Мир, 1982. 470 с.
24. Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Ленинград : Наука, 1974. 193 с.
25. Stenstrom M. K. Effects of oxygen transport limitation on nitrification in the activated sludge process // Research Journal of the Water Pollution Control Federation. 1991. Vol. 63 (3). P. 244—248.
26. Лакин Г. Ф. Биометрия. Москва : Высшая школа, 1980. 293 с.

## REFERENCES

1. Schram, E., Roques, J. A., Abbink, W., Spanings, T., De Vries, P., Bierman, S., van de Vis, H., & Flik, G. (2010). The impact of elevated water ammonia concentration on physiology, growth and feed intake of African catfish (*Clarias gariepinus*). *Aquaculture*, 306, 108-115.
2. Yildiz, Y. H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces – A Review. *Water*, 9 (1), 13.
3. Bovendeur, J., Eding, E. H., & Henken, A. M. (1987). Design and performance of a water recirculation system for high-density culture of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Aquaculture*, 63, 329-353.
4. Van de Nieuwegiessen P. G., Boerlage F. S., Verreth J. A. J., & Schrama J. W. (2008). Assessing the effects of a chronic stressor, stocking density, on welfare



- indicators of juvenile African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Applied Animal Behaviour Science*, 115, 233-243.
5. Van de Nieuwegiessen, P. G., Olwo, J., Khong, S., Verreth, J. A., & Schrama, J. W. (2009). Effects of age and stocking density on the welfare of African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell. *Aquaculture*, 288 (1), 69-75.
  6. Ip, Y. K., Chew, S. F.; Wilson, J. M., & Randall, D. J. (2004). Defences against ammonia toxicity in tropical air-breathing fishes exposed to high concentrations of environmental ammonia: a review. *The Journal of Comparative Physiology B*, 174 (7), 565-575.
  7. Ip, Y. K., Zubaidah, R. M., Liew, P. C., Loong, A. M., Hiong, K. C., Wong, W. P., & Chew, S. F. (2004). African Sharptooth Catfish *Clarias gariepinus* Does Not Detoxify Ammonia to Urea or Amino Acids but Actively Excretes Ammonia during Exposure to Environmental Ammonia. *Physiological and Biochemical Zoology*, 77 (2), 242-254.
  8. Konontsev, S. V. (2016) Biotekhnolohiia ochyshchennia vody pry vyroshchuvanni klariievoho soma v UZV. *Voda i vodoochysni tekhnolohii. Naukovo-tekhnichni visti*, 3 (20), 57-64.
  9. Chandroo, K. P., Duncan, I. J. H., & Moccia, R. D. (2004). Can Fish Suffer? Perspectives on Sentience, Pain, Fear and Stress. *Applied Animal Behaviour Science*, 86, 225-250.
  10. Braithwaite, V. A., & Boulcott, P. (2008) Can fish suffer? *Fish Welfare*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd., 78-92.
  11. Baßmann, B., Brenner, M., & Palm, H. W. (2017) Stress and welfare of African Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell, 1822) in a coupled aquaponic system. *Water*, 9, 504.
  12. Vlasov, V. A. (2009). Rezul'taty vyrashhivaniya afrikanskogo soma pri razlichnyh uslovijah kormleniya i sodержaniya. *Izvestiya TSHA*, 3, 136-146.
  13. Artemenkov, D. V. (2013). Vyrashhivanie klarievogo soma (*Clarias gariepinus*) v UZV na kombikormah s dobavkami probiotika «Subtilis». *Candidate's thesis*. Moskva: RGAU.
  14. Romanova, E. M., Ljubomirova, V. N., & Muhitova, M. Je. (2016). Biologicheskij kontrol' fertil'nosti samok klarievogo soma v bassejnovoj akvakul'ture. *Vestnik Ul'janovskoj GSA*, 3 (35), 78-84.
  15. Bregnballe, J. (2015). *A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Rome: FAO and EUROFISH.
  16. Lur'e, Ju Ju. (1973). *Unificirovannye metody analiza vod*. Moskva: Himija.
  17. Lur'e, Ju. Ju. (1984). *Analiticheskaja himija promyshlennyh stochnyh vod*. Moskva: Himija.
  18. Vlasov, V. A. (2012). Kakie kombikorma luchshe usvaivaet klarievyy som. *Kombikorma*, 5, 67-69.
  19. Fish feed for aquaculture. Highest quality by Aller Aqua. *aller-aqua.com*. Retrieved from <https://www.aller-aqua.com/>.
  20. Sklyarova, M. K., Kupriyanova, I. S., Sarantseva, T. G., Luk'yanov, V. M., Tsikhankova, Yu. L., Kudryavtseva, E. N., & Bykova, V. A. (1977). *Metodika tehnologicheskogo kontrolja raboty ochistnyh sooruzhenij gorodskoj kanalizacii*. Moskva: Strojizdat.
  21. Kuznecov, S. I., Oplov, A. I., & Nazin, T. N. (1985). *Mikrobiologicheskie processy kpgovorota ugleroda i azota v ozjorah*. Moskva: Nauka.



22. Jakovlev, S. V., & Karjuhina, T. A. (1980). *Biohimicheskie processy v oshistke stochnyh vod*. Moskva: Strojizdat.
23. Gottshalk, G. (1982). *Metabolizm bakterij*. Moskva: Mir.
24. Romanenko, V. I., & Kuznecov, S. I. (1974). *Jekologija mikroorganizmov presnyh vodoemov*. Leningrad: Nauka.
25. Stenstrom, M. K. (1991). Effects of oxygen transport limitation on nitrification in the activated sludge process. *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*. 63 (3), 244-248.
26. Lakin, G. F. (1980). *Biometrija*. Moskva: Vysshaja shkola.

