

ВПЛИВ СУЧАСНИХ МИЙНИХ ЗАСОБІВ НА ГІДРОБІОНТИ-ФІЛЬТРАТОРИ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Білик Т.І.¹, Веренікін О.М.², Леонтьєва Т.О.³

¹Національний авіаційний університет
пр. Любомира Гузара, 1, 03680, м. Київ

²Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, 02000, м. Київ

³Інститут гідробіології Національної академії наук України
пр. Героїв Сталінграда, 12, 04210, м. Київ

larus_2010@ukr.net, verenikin@delamark.ua, leontieva3394@gmail.com

Розглянуті ризики впливу сучасних мийних засобів на біоту водойм, наведені результати досліджень токсичності безфосфатних і фосфатних засобів на *Daphnia magna* та перспективи зменшення забруднення водних екосистем.

Доведено, що серед різних забруднень окремі мийні засоби створюють значні ризики для природних екосистем, особливо водних, внаслідок надходження великих об'ємів недостатньо очищених або зовсім неочищених скидів підприємств, автомилок і побутових стічних вод, які містять високі концентрації токсичних речовин, насамперед поверхнево-активних речовин і фосфатів. Вони мають прямий і непрямий вплив на екосистеми, уражаючи водяну фауну та флору.

Обґрунтовано, що евтрофікація природних водойм є одним із наслідків забруднення фосфатами. Крім того, при надходженні на очисні споруди мийні засоби зменшують ефективність очищення води мікроорганізми активного мулу. Потрапивши зі стічними водами у природні водойми, мийні засоби проходять через організми-фільтратори, що визначають здатність водойм до самоочищення. З іншого боку, за наслідками впливу на гідробіонтів-фільтраторів, зокрема на дафній, можливо зробити висновки про екологічну безпечність мийних засобів для навколишнього середовища і водних екосистем.

Проведені дослідження токсичності на *Daphnia magna* показали суттєву безпечність безфосфатних синтетичних мийних засобів, у складі яких замість фосфатів як комплексоутворювачі використовувалися нешкідливі для організмів речовини. Найбільша виживаність дафній спостерігалася у розчинах без фосфатного засобу на основі тринатрієвої солі метилгліцинедіоцтової кислоти за всіх досліджених концентрацій. Інші безфосфатні порошки виробництва України та Німеччини показали дещо нижчі, практично однакові результати. Найбільша смертність спостерігалася у розчинах фосфатного мийного засобу МЗ-4. *Ключові слова:* мийні засоби, вплив на гідробіонтів, водні екосистеми, фосфати, евтрофікація, безфосфатні засоби, дафнії, токсичність.

Influence of modern detergents on aquatic filter-filters of aquatic ecosystems. Bilyk T., Verenikin O., Leontieva T.

The aspects of the impact of modern detergents on the biota of water bodies are discussed, the results of research on the toxicity of phosphate-free and phosphate agents on *Daphnia magna* and the prospects for reducing pollution of aquatic ecosystems are presented. Among various contaminants, detergents have been shown to pose significant risks to natural ecosystems, especially aquatic ones, due to large volumes of insufficiently treated or untreated discharges of enterprises, car washes and domestic wastewater containing high concentrations of toxic substances, primarily surface water active substances and phosphates. They have direct and indirect effects on ecosystems, affecting aquatic fauna and flora. It is substantiated that eutrophication of natural reservoirs is one of the consequences of phosphate pollution. In addition, when entering treatment plants, detergents reduce the efficiency of water treatment microorganisms activated sludge. Once in natural water bodies with wastewater, detergents pass through filter organisms, which largely determine the ability of water bodies to self-clean. On the other hand, based on the effects of filtering aquatic organisms, in particular on *daphnia*, it is possible to draw conclusions about the ecological safety of detergents for the environment and aquatic ecosystems in particular. Toxicity studies on *Daphnia magna* have shown significant safety of phosphate-free synthetic detergents, which instead of phosphates as complexing agents used harmless to organisms. The highest survival of *daphnia* was observed in solutions of phosphate-free agent based on the trisodium salt of methylglycinediacetic acid at all studied concentrations. Other phosphate-free powders produced in Ukraine and Germany showed slightly lower, almost identical results. The highest mortality was observed in phosphate detergent solutions. *Key words:* detergents, impact on aquatic organisms, aquatic ecosystems, phosphates, eutrophication, phosphate-free agents, *daphnia*, toxicity.

Постановка проблеми. Застосування мийних засобів (далі – МЗ) для дотримання чистоти приміщень, одягу й особистої гігієни людини є безперечним досягненням цивілізації. Швидкий розвиток хімічної промисловості викликав появу величезної кількості різноманітних товарів побутової хімії, однак людина недооцінює шкоду, якої вони завдають. Велика частина пральних порошоків містить поліфосфати, небезпечні для навколишнього середовища та для здо-

ров'я людини, поверхнево-активні речовини (ПАР), хлор, вуглекислий газ, оксиди азоту, фенол, формальдегід, ацетон, аміак, ензими, відбілювачі, абразивні речовини, ароматизатори – це не повний список хімічних речовин, що містяться у використовуваній побутовій хімії. Всі ці компоненти біологічно агресивні. Потрапляючи в потік стічних вод, мийні засоби можуть мати далекосяжні наслідки для навколишнього середовища, насамперед водних екосистем [1; 2].

Надмірне надходження фосфору до водойм внаслідок антропогенного забруднення, а саме використання фосфатів у МЗ, викликає евтрофікацію і, як наслідок, накопичення біотоксинів, погіршення якості води та враження гідробіонтів. Здійснюючи різноплановий вплив на фізіолого-біохімічні процеси у водяних тварин, фосфати можуть суттєво впливати на метаболізм і репродукцію, модифікувати адаптивні реакції, викликані абіотичними чинниками, ускладнюючи цим пристосування до навколишнього середовища, яке постійно змінюється [1; 3]. Водяні організми-фільтратори відіграють визначну роль в очищенні води від низки забруднювачів як природного, так і антропогенного походження, що має велике значення для природних водних екосистем. Водночас токсичність ксенобіотиків може перевищувати толерантність до них організмів, а це викликає їхню загибель і впливає на здатність екосистем до самоочищення [1–3]. Це впливає на якість питної води та на людину як кінцевого споживача й вимагає негайних заходів зі зменшення такого впливу.

Актуальність дослідження. Сьогодні всі розвинені країни переходять на заміну фосфатних МЗ безфосфатними. Водночас актуальним завданням є з'ясування їх впливу порівняно з фосфатними на водні екосистеми, який ще не вивчений достатньо, щоб визначити їхню екологічну безпечність.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Вимоги до МЗ визначає Технічний регламент мийних засобів, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 20 серпня 2008 р. № 717.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В Україні використовується велика кількість МЗ, що містять сполуки фосфору, ПАР та інші компоненти. Враховуючи світову тенденцію відмови від фосфатних МЗ, виробники працюють над розробленням нових безфосфатних рецептур, щоб зменшити негативну дію на навколишнє природне середовище та на людину. Водночас потребують з'ясування питання їхньої екологічної безпечності для водних екосистем, зокрема дослідження токсичності для природних гідробіонтів-фільтраторів. Одночасно важливо визначити за результатами біотестування МЗ, які мають екологічно прийнятні характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численними дослідженнями з'ясовано, що МЗ виконують у побуті споживчу функцію, оскільки вони амфифільні: частково гідрофільні (полярні) та частково гідрофобні (неполярні). Їхня подвійна природа полегшує змішування гідрофобних сполук (таких як олія та жир) із водою. Оскільки повітря не є гідрофільним, МЗ також є піноутворювачами різного ступеня. Головним компонентом МЗ є ПАР. Інші складники можуть виконувати відбілювальну функцію (вивільняють хлор або кисень), соду, рідке скло (солі кремнієвої кислоти), наповнювачі, піноутворю-

вачі, стабілізатори, речовини, що пом'якшують воду (фосфати, цеоліти та полікарбонатові кислоти), парфумерні та суспензуючі речовини, ферменти, барвники, оптичні відбілювачі, бактерицидні речовини (четвертинні сполуки амонію) та інші матеріали [3–5].

Мийна дія ПАР зумовлена ще й тим, що детергенти утворюють високостійкі піни, гідрофобні бульбашки яких флотують частки забруднень. Надходячи зі стічними водами до річок і водойм, ці речовини утворюють на поверхні води «гори» стійкої піни, що зумовлює зниження швидкості проникнення кисню з повітря у воду та призводить до зменшення адсорбції розчиненого кисню водними організмами [6]. У цьому разі страждають всі організми у водоймі. Так, згідно з дослідженнями в річці Темза загинула більшість біоти та навіть було утруднено судноплавство через піну, яка скупчилася в межах Лондона [7]. Великою проблемою для довкілля стало використання у МЗ значної кількості сполук фосфору. Сучасні МЗ можуть містити до 30–50% пентанатрійди- або трифосфату (наприклад, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) і деяку кількість поліфосфатів. Доведено, що вони міцно пов'язують дво- і тривалентні іони металів, що пом'якшує воду й усуває бруд, який складається з важкорозчинних сполук. Крім того, поліфосфати підсилюють дію ПАР. Біологи з'ясували, що, потрапляючи після прання разом зі стічними водами у водойми, фосфати діють як добрива, унаслідок чого збільшується популяція водоростей [8; 9]. Вони, розкладаючись, виділяють у значних кількостях метан, аміак, сірководень, які знищують все живе у воді й порушують екосистему водойм [9]. У багатьох країнах законодавчо заборонили застосування фосфатних СМЗ, оскільки евтрофікація призводить до масового розвитку не тільки мікроскопічних водоростей, але й інших мікроорганізмів, бактерій, що розкладають органічну речовину. Витрачається значна кількість кисню, у воду виділяються токсичні продукти розпаду, що призводить до погіршення умов проживання гідробіонтів. Окрім того, СМЗ – ще й потужні дезоксигенатори, тобто речовини, які активно руйнують розчинений у воді кисень, тому вони небезпечні для всього живого у воді навіть за незначних концентрацій. Наприклад, встановлено, що вміст в 1 л води 1 мг МЗ токсичний для риб [10]. Більша частина сполук, що входять до складу мийних засобів, може розщеплюватися певною мірою в аеробних деструктивних процесах, але через їхню токсичність та обмежений шлях метаболізму анаеробна деградація є менш можливою [10].

Вивчення процесу гідролізу МЗ на основі поліфосфатів (ПФ) показало, що період їхнього напіврозпаду у стічних водах становить 7,3 год при 15°C і 3,0 год при 20°C [10]. Потрапивши у воду, сполуки фосфору включаються в біохімічні цикли внутрішньоводоймних процесів його колообігу й уже практично не залишають її. Результатом є надлишкова продукція автотрофів, особливо водо-

ростей і ціанобактерій. Синьо-зелені водорості під час розмноження утворюють на поверхні води щільне «покривтя», що не пропускає сонячне світло й кисень. Ця висока продуктивність призводить до зростання бактеріальної популяції та високих темпів дихання, що спричиняє гіпоксію або аноксію в погано перемішуваних придонних водах, а також у поверхневих водах вночі за теплих умов. Низький рівень розчиненого кисню викликає загибель водних тварин і вивільнення багатьох речовин, зазвичай зв'язаних донними відкладами, у т. ч. різних форм Р. Це, у свою чергу, підсилює евтрофікацію [9; 10].

При відмиранні цих водоростей у водоймах розвиваються гнилісні процеси. Бактерії, що окислюють органічні сполуки водоростей, активно споживають кисень, тому у водоймах починає його бракувати. Це призводить до кисневого голодування й загибелі риби та іншої фауни у водоймах і, як наслідок, зменшення біорізноманіття в екосистемі. Підвищені концентрації фосфору впливають також на життєдіяльність безхребетних тварин. Так, за збільшення концентрації фосфору у воді різко зростає смертність дафній, коловерток, діатомусів, що впливає на здатність водойм до самоочищення внаслідок діяльності організмів-фільтраторів [9; 10; 12].

Оскільки фосфор як один із основних елементів фосфатної буферної системи відіграє важливу роль у механізмі підтримання кислотно-лужної рівноваги у крові та інших біологічних рідинах організму риби, то його надлишок призводить до порушення фізіологічної рівноваги й загибелі особин. За підвищення концентрації фосфатів у воді є загроза розвитку ацидемії (зростання кислотності біологічних рідин). Через це може порушуватися підтримання балансу кислих і лужних елементів у крові, а відповідно, і кислотно-лужної рівноваги в організмі риби [12]. Окрім того, всі МЗ руйнують зовнішні шари слизу, які захищають рибу від бактерій і паразитів. Доведено, що накопичення ПАР у воді за короткий час може порушувати зір риби, а також ушкоджує зябра [13]. Дослідження хронічного впливу ПАР на ріст і виживання личинок морського окуня (*Lates calcarifer Bloch*) показало, що рівень токсичності (LC50, 96 год) становив 1,8 мг/л. Відзначено негативний вплив на щоденний приріст, а за більш високих концентрацій рівень смертності збільшився. Крім того, вплив на личинок за концентрації, нижчої за летальну дозу, протягом 30 днів призводив до дегенерації печінки [13]. При визначенні впливу забруднення води фосфатним МЗ у чотирьох різних концентраціях – 200 мг/л, 150 мг/л, 100 мг/л, і 50 мг/л на споживання кисню у прісноводних риб виду *Anabas testudineus* доведено, що збільшення концентрації викликає утруднене дихання й ознаки дистресу, а також зниження рухливості. Крім того, концентрація вище 200 мг/л була смертельною для риби [14]. МЗ шкідливі також для водних рослин. Процес евтрофікації проявляється у масовому розмноженні насамперед синьо-зелених водоростей

внаслідок скидання у водойми стічних вод із високою концентрацією фосфатів і пригнічення багатьох інших видів водних рослин [10].

Окрім прямого впливу МЗ, зменшення популяцій рослин може побічно впливати на ті види гідробіонтів, що залежать від них у плані отримання їжі, захисту або місця для нересту [14]. При дослідженні впливу трьох МЗ (додецилбензолсульфонату натрію, триполіфосфату натрію та лаурилсульфату натрію) на двох видів водних рослин (*Azolla pinnata* та *Hydrilla verticillata*) було відзначено зниження хлорофілу за всіх досліджуваних концентрацій, а також зниження росту рослин і втрату біомаси. Результати показали, що фітотоксична доза лаурилсульфату натрію для *Lemna minor* і *Spirodela polyrhiza* становить 8,05%, для *Pistia stratiotes*, *Hydrilla verticillata* та *Ceratophyllum demersum* – 0,01%, а *Salvinia molesta* виявився чутливим видом навіть до концентрації 0,005% [15; 16].

Забруднення вод МЗ ускладнюється ще й тим, що навіть їх біологічне руйнування не є вирішенням проблеми, оскільки самі продукти такого руйнування подеколи є токсичними. Мікроорганізми та безхребетні фільтратори, пропускаючи через себе воду й отримуючи таким чином поживні речовини, разом із ними отримують і дозу забруднювача. Забруднення поширюється по харчовому ланцюгу, концентрація такої речовини на одиницю ваги кожного наступного консумента зростає. На додаток до вищезазначених проблем води, забруднені фосфатами та токсинами водоростей, отруйні і для людини [17; 18].

Вплив МЗ на мікроорганізми активного мулу систем біологічного очищення стічних вод спричиняє зниження їх ефективності на 40% [19; 20].

В останні роки у стічних водах, що надходять на Бортницьку станцію аерації, за даними ПрАТ АК Київводоканал, кількість фосфатів різко зросла (рис 1).

Якщо в середині 90-х рр. минулого століття концентрація фосфатів у стічній воді, яка надходила на споруди, становила 6–8 мг/л, то сьогодні вона сягає майже 30 мг/л за нормативу скиду в міську каналізаційну мережу 8.0 мг/л. Фосфати в таких значних концентраціях у стічних водах значно погіршують якість очистки, оскільки впливають на біоценоз активного мулу аеротенків, зменшуючи кількість розчиненого кисню [23]. Єдиний шлях вирішення проблеми прямо зараз – зменшення кількості фосфатів, що надходять на станцію аерації. Аналогічна ситуація зі змінами у складі стічної води, що супроводжується ростом концентрацій синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) і фосфатів, останнім часом склалася на багатьох станціях очистки стічних каналізаційних вод у різних містах України (Харкові, Полтаві, Львові, Краматорську та ін.) [24]. Це свідчить про універсальність досліджуваної проблеми. Водночас технологія очистки комунальних стічних вод за допомогою аеротенків є досить подібною.

Висока концентрація фосфатів у стічних водах і застарілі технології призводять до недостатнього очищення води, яка надходить у скидний канал. Така ситуація призводить до погіршення стану водних екосистем, впливає на якість води та на людину як на кінцевого споживача. Отже, для підтримання екологічної рівноваги у водних екосистемах необхідно контролювати вміст фосфатів у воді й не допускати його перевищення.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження були обрані пральні порошки, представлені на ринку України, які користуються широким попитом різних верств населення. Для порівняння впливу на гідробіотів визначені 4 види пральних порошоків, із яких 3 були безфосфатними, а один містив фосфати. З метою запобігання звинувачень у рекламі або антирекламі певних брендів ми не наводимо назви використаних пральних порошоків. В експерименті було використано такі МЗ:

МЗ-1 – безфосфатний, із комплексоутворювачем на основі тринатрієвої солі метилгліцинедіоцтової кислоти, середньої цінової категорії (Україна). Склад: аніонні та неіоногенні ПАР (<5%), натрій глюконат, тринатрієва сіль метилгліцинедіоцтової кислоти, мило рідке, бікарбонат і карбонат натрію, електроліти, антиресорбенти, силікати, антиресорбент, оптичний відбілювач, ароматизатор;

МЗ-2 – безфосфатний, із комплексоутворювачем на основі сесквікарбонату натрію, середньої цінової категорії (Україна). Склад: аніонні ПАР (<4%), неіоногенні ПАР (<1%), сесквікарбонат натрію та бікарбонат натрію (<35%), електроліти, антиресорбенти, силікати, інгібітор переносу барвника, інгібітор інкрустації тканини, ензими, парфумерна композиція;

МЗ-3 – безфосфатний, із комплексоутворювачем на основі цеолітів, середньої цінової категорії (Німеччина). Склад: аніонні та неіоногенні ПАР (<5%), цеоліти, відбілювальні кисневі сполуки, оптичні підбілювачі (<5%), регулятор піни, ензими, ароматизатор.

МЗ-4 – фосфатний, із комплексоутворювачем на основі фосфатів, низької цінової категорії (Україна). Склад: аніонні ПАР (5%), неіоногенні ПАР (<5%), фосфати, фосфонати, полікарбоксилати, ензими, оптичні підбілювачі, ароматизатори.

Вміст фосфатів у обраних порошках був перевірений у лабораторії та показав відсутність їх у безфосфатних МЗ, у МЗ-4 він становив 9,2%.

Аналіз складу обраних безфосфатних мийних засобів, наведений за доступною нам від виробників інформацією, дозволяє визначити основні їхні відмінності:

МЗ-1 містить тринатрієву сіль метилгліцинедіоцтової кислоти як комплексоутворювач для пом'якшення води (нешкідливу для навколишнього середовища речовину), до складу порошку МЗ-2 входить сесквікарбонат натрію (аналог природного мінералу, «єгипетська сіль») для пом'якшення води; у складі порошка МЗ-3 не повідомлено про особливі речовини, МЗ-4 містить сполуки фосфору, а всі інші компоненти у складі порошоків були подібними.

Необхідно відзначити, що детальний кількісний склад рецептур пральних порошоків виробники не розголошують, оскільки ця інформація захищена авторським правом розробника. Водночас відомо, що при розробленні безфосфатних МЗ для заміни фосфатів як комплексоутворювачів застосовують глюконат натрію, тринатрієву сіль метилгліцинедіоцтової кислоти, полікарбоксилат, похідні етилендіамінтетра-

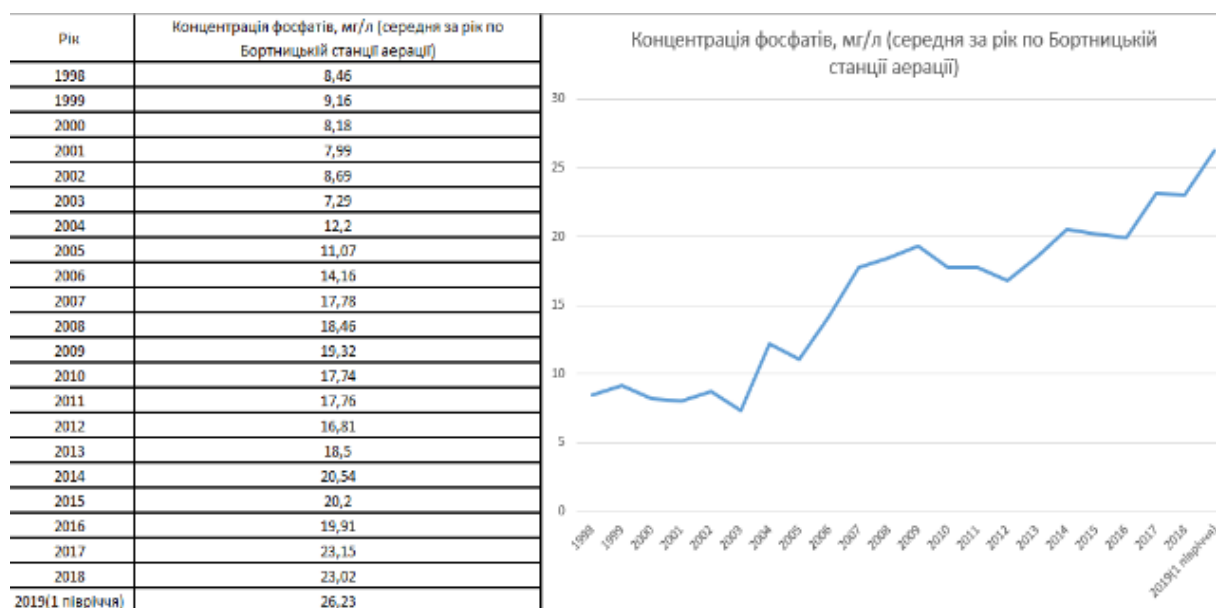


Рис. 1. Концентрація фосфатів, мг/л (середня за рік) у стічних водах, що надходили на споруди Бортницької станції аерації за період 1998–2019 рр.

оцтової кислоти, сесквікарбонат натрію, які знижують жорсткість води, зв'язуючи катіони металів, і не допускають повторного осідання частинок бруду на очищену поверхню. Оптимізація системи комплексоутворювачів підвищує мийну здатність, зменшує осідання мінеральних речовин, стабілізує ензими, знижуючи їхнє протеолітичне розкладання. Уведення аніонних і неіоногенних ПАР у співвідношенні 1:2 у складі МЗ дозволяє досягнути ступеня мийної здатності на рівні 98%. Частка допоміжних складників усіх рецептур (барвника, ароматизатора, оптичного відбілювача, консерванта) має становити менше 1% для позиціонування продукції як екологічно прийнятної.

Для визначення токсичності дафній поміщали у скляні стакани з розчинами МЗ визначених концентрацій 0,01, 0,1, 1,0, 10 та 100 м/л відповідно по 10 особин, контролем була чиста вода. На кожну концентрацію речовини досліди проводилися у 5 повторах. Через 24, 48, 72 та 96 годин проводили підрахунок виживаності особин *Daphnia magna* за ДСТУ 4166-2003, КНД 211.1.4.054-97. Для оцінки токсичності мийних засобів були проведені гострі (24 години) та хронічні (96 годин) досліди. Статистичну обробку отриманих даних проводили описаними загальноприйнятими методами [24].

Екологічна оцінка безпечності МЗ проводилася шляхом біотестування розчинів у діапазоні концентрацій від 0,01 до 100 м/л в експериментальних еколого-токсикологічних дослідженнях із використанням як тест-об'єктів гіллястовусих безхребетних ракоподібних *Daphnia magna*.

Вибір цих водяних організмів був зумовлений тим, що вони є характерними представниками прісноводних екосистем і використовуються у стандартизованих методиках біотестування для оцінки токсичності водного середовища [25].

Daphnia magna – вид невеликих планктонних ракоподібних розмірами від 0,2 до 5 мм, які є постійними мешканцями стоячих і слабопроточних водойм. За способом харчування дафнії – активні фільтратори. Аклімацію дафній до лабораторних умов проводили із підтримкою кисневого та температурного режиму водного середовища, за температури 25±1°C впродовж 7 діб. Дафній годували щоденно хлорелю, концентрацію мікродоростей підтримували

в діапазоні 0,1–0,7 мг С/дм³ (мг водоростевого органічного вуглецю) [24]. Для дослідів використовували синхронізовану, генетично однорідну культуру *Daphnia magna*.

Для дослідження готували розчини МЗ концентрацій концентрацією від 0,01 до 100 м/л, у яких проводили вимірювання рН (табл. 1). Як видно з результатів вимірів, рН відповідає лужному середовищу, підвищується в межах 0,2–0,7 одиниць зі збільшенням концентрації та незначно відрізняється для різних МЗ у межах однакової концентрації.

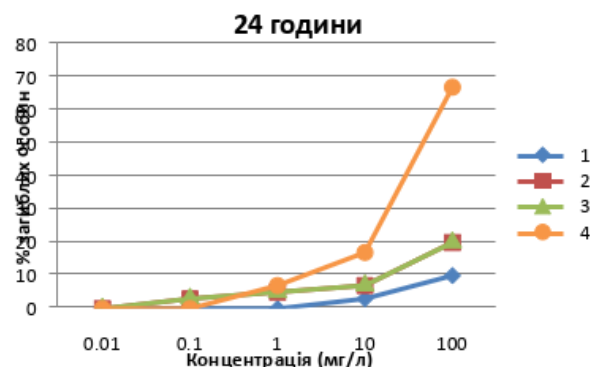


Рис. 2. Вплив МЗ на виживаність *Daphnia magna* після 24 годин впливу (гостра токсичність)

Позначення: 1 – МЗ-1; 2 – МЗ-2; 3 – МЗ-3; 4 – МЗ-4

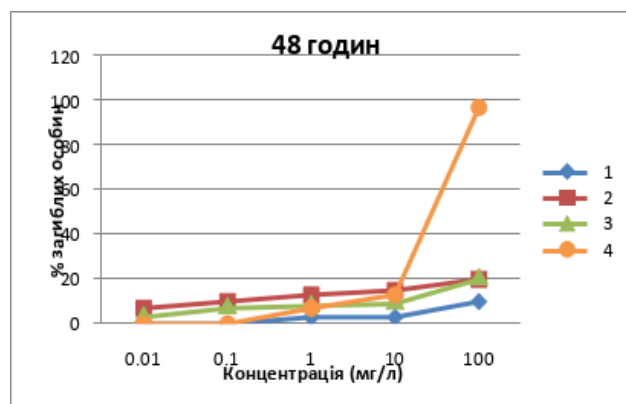


Рис. 3. Вплив МЗ на виживаність *Daphnia magna* після 48 годин впливу

Позначення: 1 – МЗ-1; 2 – МЗ-2; 3 – МЗ-3; 4 – МЗ-4

Таблиця 1

Результати вимірювання рН у розчинах МЗ

Назва порошку	МЗ-2	МЗ-1	МЗ-3	МЗ 4
Концентрація				
100	8,56	8,65	8,23	8,74
10	8,07	8,11	8,03	8,09
1	8,0	8,03	8,05	8,03
0,1	8,0	8,01	8,02	8,0
0,01	8,6	8,01	8,03	7,95
Контроль	7,95			

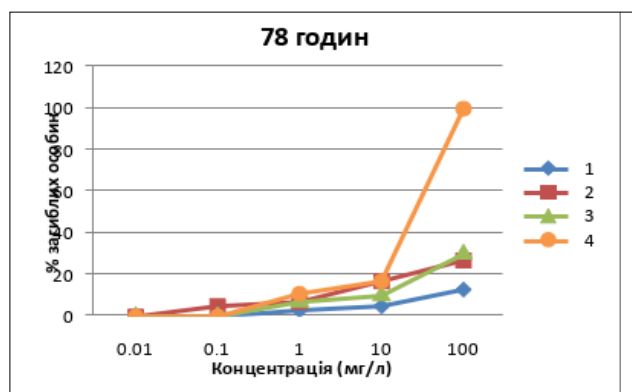


Рис. 4. Вплив МЗ на виживаність *Daphnia magna* після 78 годин впливу

Позначення: 1 – МЗ-1; 2 – МЗ-2; 3 – МЗ-3; 4 – МЗ-4

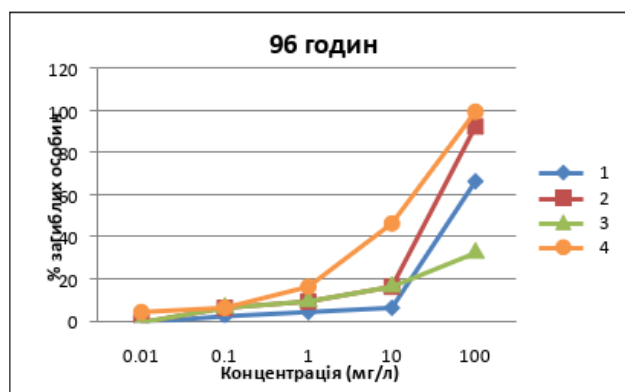


Рис. 5. Вплив МЗ на виживаність *Daphnia magna* після 96 годин впливу

Позначення: 1 – МЗ-1; 2 – МЗ-2; 3 – МЗ-3; 4 – МЗ-4

Результати біотестування представлені на рис. 2–5.

Основною метою проведення експерименту була перевірка впливу безфосфатних МЗ на гідробіонтів, порівняння із впливом фосфатного засобу, а також встановлення впливу покращення екологічних характеристик сучасних безфосфатних МЗ на виживаність дафній за умови надходження у водне середовище їхнього існування цих засобів у діапазоні концентрацій від 0,01 до 100 мг/л. Дослід на гостру токсичність (рис. 2) показав, що найбільша виживаність дафній спостерігалася у розчинах безфосфатного МЗ-1 за всіх досліджених концентрацій, навіть за 100 мг/л – 90% живих особин. Найбільша смертність спостерігалася у розчинах фосфатного МЗ широкого попиту.

Безфосфатні порошки виробництва Німеччини й України МЗ-3 та МЗ-2 показали однаковий задовільний результат – 80% живих особин популяції за концентрації 100 мг/л. Як показали дослідження, ця тенденція зберігалася й після 48 та 78 годин впливу (рис. 3, 4).

Водночас за більш тривалого впливу (96 годин) смертність дафній значно зросла для всіх МЗ, за винятком безфосфатного МЗ виробництва Німеччини (рис. 5). Поясненням цьому факту може бути наявність стійких до розкладу токсичних компонентів пролонгованої дії у складі засобів у разі високої смертності та більша швидкість їхнього біорозкладу у разі низької смертності (27%) дафній у розчині МЗ-3 за концентрації 100 мг/л.

Результати дослідження показали, що концентрації пральних порошоків до 10 мг/л були малотоксичними для дафній при експозиції до 78 годин впливу, водночас за умови продовження експерименту до 96 годин смертність дафній збільшувалася в розчині МЗ-4. Концентрація 100 мг/л фосфатного МЗ призводила до загибелі практично 100% дафній вже за 48 годин експозиції, а всі досліджені безфосфатні МЗ показували низьку смертність (до 20%) до 78 годин експозиції.

Можна зробити висновок, що токсичність безфосфатних пральних порошоків суттєво нижча порівняно з фосфатним, а вищі показники виживаності *Daphnia magna* серед них показав МЗ-1 із покращеними екологічними характеристиками складу.

Головні висновки. На основі аналізу наукових джерел доведено, що забруднення поверхневих вод фосфатами значною мірою відбувається через надходження стічних вод, які містять фосфати та інші шкідливі речовини як компоненти синтетичних МЗ. Це викликає евтрофікацію, виділення токсинів, загибель гідробіонтів і деградацію водних екосистем [26]. Пральні порошки, що реалізуються на території України, містять 5–40% фосфатних речовин, які не видаляються застарілими технологіями очистки. Для вирішення цієї проблеми необхідно вводити обмеження, а краще заборону, на використання фосфоровмісних МЗ на державному рівні, як це зробили більшість розвинених країн.

Еколого-токсикологічна оцінка МЗ шляхом біотестування на *Daphnia magna* показала суттєву безпечність безфосфатних МЗ: найбільша виживаність дафній спостерігалася у розчинах безфосфатного МЗ-1 за всіх досліджених концентрацій, навіть за 100 мг/л – 90% живих особин. Безфосфатні порошки виробництва України та Німеччини МЗ-2 та МЗ-3 показали однаковий непоганий результат – 80% живих особин популяції за концентрації 100 мг/л. Як показали дослідження, ця тенденція зберігалася і протягом 78 годин впливу. Найбільша смертність спостерігалася у розчинах фосфатного МЗ широкого попиту МЗ – 4 призводив до 100% загибелі гіллястовусих ракоподібних фільтраторів вже через 48 годин.

Дафнії виявилися чутливими до впливу МЗ і можуть бути інформативними тест-об'єктами для визначення токсичності й екологічної безпечності МЗ.

Створення і впровадження сучасних безфосфатних МЗ, які містять для заміни фосфатів такі комплексоутворювачі: тринатрієву сіль метилгліцинеді-

оцтової кислоти, глюконат натрію, сесквікарбонат натрію, полікарбоксилат, що знижують жорсткість води, – це перспективний шлях покращення їхніх екологічних характеристик і підвищення рівня безпечності для водних екосистем.

Перспективи використання результатів досліджень. Узагальнюючи результати проведених експериментів, можна сказати, що для збереження водних екосистем необхідна заміна фосфатів у пральних

порошках на екологічно безпечні компоненти як перспективний захід запобігання забрудненню.

Отже, заходи, якими можна покращити стан довкілля, – це запровадження жорстких стандартів, котрі зменшують використання токсичних речовин і фосфатів, що входять до складу пральних порошків; законодавче регулювання та стимулювання виробників до створення і впровадження сучасних безфосфатних екологічних МЗ.

Література

1. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування : монографія. Київ, 2013. 297 с.
2. Гандзюра В.П., Грубінко В.В. Концепція шкодочинності в екології. Київ – Тернопіль, 2018. 144 с.
3. Черных Н.А., Сидоренко С.Н. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере. Москва, 2013. 430 с.
4. Беспалова Л.Е. Водна токсикологія : навчальний посібник. Херсон, 2015. 131 с.
5. Вергейчик Т.Х. Токсикологическая химия : учебник. Москва, 2012. 432 с.
6. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты. Москва, 2009. 400 с.
7. Ohmen, A., Lemos, P.C., Carvalho, G., Yuan, Z., Keller, J., Blackall, L. L., et al. Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale. *Water Res.*, 41, 2015. P. 2271–2300.
8. Pattusamy V., Nandini N., Bheemappa K. Detergent and sewage phosphates entering into lake ecosystem and its impact on aquatic environment. *Int J Adv Res.* 1 (3). 2013. P. 129–133.
9. Морозова А.О. Режим завислої речовини, фосфору та заліза в водоймах гирлової області р. Дніпра та Південного Бугу : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 11.00.07. Київ, 2000. -18 с.
10. Дашенко Ю.С. Евтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. Москва, 2007. 252 с.
11. Jha B, Singh D. Applications of fly ash zeolites: case studies. *FlyAsh Zeolites, Springer.* Singapore. 2016. P. 191–202.
12. Романенко В.Д. Основи гідроекології. Київ, 2001. 726 с.
13. Rejeki S, Rahmat A. Chronic effects of detergent surfactant (linear alkylbenzene sulfonate) on the growth and survival rate of sea bass (*Lates calcaliflor Bloch*) larvae. *J Coast Devel*, 8 (3). 2013. P. 207–226.
14. Krause-Jensen D., Middelboe A.L., Carstensen J., Dahl K. Spatial patterns of macroalgal abundance in relation to eutrophication. *MarBiol.* 152 (1). 2007. P. 25–30.
15. Pandey P., Gopal B. Effect of detergents on the growth of two aquatic plants: *Thalassiosira pseudonana* and *Hydrilla verticillata*. *Environ We Int J Sci Technol.* 5. 2010. P. 107–114.
16. Brandt K., Hesselso M., Roslev P., Henriksen K., Sorensen J. Toxic effects of linear alkylbenzene sulfonate on metabolic activity, growth rate, and microcolony formation of *Nitrosomonas* and *Nitrosospira* strains. *Appl Environ Microbiol.* 67 (6). 2001. P. 2489–2498.
17. Куценко С.А. Основы токсикологии. Санкт-Петербург, 2002. 395 с.
18. Остроумов С.А. Биологические эффекты поверхностно-активных веществ в связи с антропогенными воздействиями на биосферу Москва, 2000. 116 с.
19. Bashar, R., Gungor, K., Karthikeyan, K. G., Barak, P. Cost effectiveness of phosphorus removal processes in municipal wastewater treatment. *Chemosphere*, V. 7. 2018. P. 195–217.
20. Cornel, P., and Schaum, C. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs. *Water Sci. Technol.* 59. 2009. P. 1069–1076.
21. Cydzik-Kwiatkowska, A., Zielinska, M. Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 32, 2016. P. 113–119.
22. Chen, L., Gu, Y., Cao, C., Zhang, J., Ng, J. W., and Tang, C. Performance of a submerged anaerobic membrane bioreactor with forward osmosis membrane for low-strength wastewater treatment. *Water Res.*, 21, 2014. P. 213–239.
23. Шевчук В., Мазуркевич О., Навроцький В. Екологічне оздоровлення Дніпра (досвід міжнародної співпраці). Київ, 2017. 267 с.
24. Арсан О.М., Давидов О.А., Євтушенко М.Ю., Жукинський В.М. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенко. Київ, 2006. 406 с.
25. Єфремова О.О. Біотестування. Сучасний стан практичного використання. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.* № 6. 2006. С. 2–30.
26. Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., Peakall D.B. Principles of Ecotoxicology. 2001. 307 p.